Omaggio d'affetto
dell'allievo Luigi Palazzo

FISICA DEL SUOLO

Alcune lezioni prelevate dal Corso di Fisica applicata all'Igiene

date dal Dot.

LUIGI PALAZZO

presso la R. Scuola di perfezionamento nell'Igiene Pubblica.

1890.

brino
ICA

Prof. PARAL
inv. IRR 310

INVENTARIO N.
IRR 310

In attesa di potere in seguito dare alle stampe un manuale che sotto forma di guida pratica comprenda tutta la materia assegnata alla fisica ed alla meteorologia dal Programma per gli esami di concorso ai posti di medico provinciale, Io pensato, per comodo dei miei uditori, di cominciare a raccogliere provvisoriamente in queste poche dispense litografate gli argomenti delle lezioni svolte in corrispondenza dei numeri 1 e 2 del detto programma.

Dr. Luigi Palazzo.

PARTE PRIMA

Studio fisico del suolo

Cenni sull'importanza dello studio delle proprietà fisiche del terreno relativamente all'Igiene.

E' noto che molti microorganismi patogeni trovano nel suolo condizioni più o meno adatte per il loro sviluppo e la loro diffusione. Queste condizioni variano da terreno a terreno probabilmente colla struttura di esso, colla grossezza delle particelle costituenti, colla permeabilità per l'aria e per l'acqua ecc., e certamente poi col comportamento rispetto al calore ed all'umidità. Devesi adunque ricercare essenzialmente nella varia natura del suolo e nelle diverse proprietà fisiche del terreno l'origine delle predisposizioni cosidette locali per certe malattie infettive (quali la febbre malarica, il colera, il tifo, la febbre gialla ecc.) che si mostrano più o meno strettamente collegate con determinate zone di terreno.

Ma anche prescindendo dalle malattie epidemiche ed endemiche, il suolo ha stretta relazione col benessere degli abitanti, poichè esso costituisce in certa guisa uno dei fattori del clima, potendo p.es. la tenacità con cui il terreno trattiene l'acqua, influire in alto grado sulla temperatura e sull'umi-

dità dell'aria.

La potabilità dell'acqua viene, almeno in parte, determinata dalle proprietà fisiche e dalla composizione chimica dei terreni da cui l'acqua proviene o che essa attraversa per infiltrazione prima di venire a giorno.

Processi chimici, fenomeni speciali di assorbimento o di decomposizione che hanno luogo nel suolo, e che poi per via diretta o indiretta esercitano influenza sui fenomeni biologici, trovano le loro condizioni determinanti nelle attitudini fisiche del terreno.

L'insalubrità delle cantine usate come abitazione dell'uomo si manifestano in grado maggiore o minore a seconda delle speciali condizioni di porosità, di permeabilità, di umidità ecc. del terreno.

Il sistema dell'inumazione dei cadaveri può presentare inconvenienti maggiori o minori per la salute pubblica secondochè il suolo adoperato come cimitero permette un più o meno attivo scambio dell'aria del sottosuolo coll'aria atmosferica; a seconda delle condizioni in cui si compiono le oscillazioni verticali ed il corso della falda acquea sotterranea; infine a seconda che le qualità proprie del terreno favoriscono più o meno la rapida e completa distruzione dei cadaveri.

Bastino questi rapidi cenni per convincerci che lo studio delle proprietà fisiche del terreno deve con ragione occupare un posto importante

nella serie delle ricerche igieniche.

La relativa novità di questa parte dell'igiene, che deve i suoi inizii al Pettenkofer, fa sì che i metodi di ricerca finora escogitati sono ancora nella massima parte imperfetti, e spesso anzi deficienti affatto allo scopo. Essi anzichè fornirci misure rigorose, esprimibili numericamente e in modo assoluto, soventè non servono ad altro che a darci dei criteri approssimati, a formarci dei concetti grossolani ed affatto relativi sul vario carattere dei terreni. — E' adunque altamente a desiderarsi che col progresso del tempo si facciano serii studi in questa direzione, si perfezionino i metodi già conosciuti o se ne immaginino altri più adatti, in modo da radunare copiosa messe di risultati meglio conchiudenti e più attendibili.

In queste poche lezioni noi non ci occuperemo quasi esclusivamente d'altro che della parte metodica o sperimentale di questo studio.

Capitolo Primo

Le proprietà fisiche del terreno.

I. Metodi per la prelevazione dei saggi di terreno.

Poche sono le ricerche sperimentali che si prestano ad essere fatte sul terreno in posto cioè lasciato nella sua giacitura naturale; perciò nella massima parte dei casi è necessario che dal terreno vengano prelevate delle limitate porzioni (saggi o campioni) da assoggettarsi poi ad esperienze in laboratorio.

Questa raccolta di campioni dal terreno che si vuole studiare, conviene sia fatta in modi diversi a seconda dello scopo speciale di studi che uno si propone. Noi accenneremo ai seguenti metodi principali di estrazione del terreno:

1° Col badile. – Coll'orlo tagliente del badile si comincia dall'estirpare dalla superficie del suolo le pianticelle d'erba che l'ingombrano; rimosse queste, si scava col badile una fossa a sezione quadrata di 30 cm. di lato, a pareti verticali e col fondo possibilmente orizzontale. Alla fossa si darà profondità minore o maggiore (da 30 a 60 cm.), secondochè nel saggio di terreno si vorrà comprendere soltanto il suolo cosidetto agrario, ovvero anche il sottosuolo. Tutta la terra estratta dalla fossa sarà distesa su di un lenzuolo, pulita accuratamente dai resti di radici in essa commisti, e ben rimescolata

col badile; dalla massa si toglieranno poi 3 o 4 kg. di terra che serviranno come campione.

Operando col badile le particelle di terra del saggio più non conservano la disposizione relativa che avevano prima fra loro; cioè rimane alterato il modo particolare di aggregazione del terreno, e quindi male si potranno su tale saggio studiare le proprietà fisiche dipendenti dalla struttura. Questo metodo adunque più che ad estrarre terra a scopo di ricerche fisiche, si presta quando si ha da studiare la composizione chimica o mineralogica del suolo.

Per lo studio chimico e petrografico, spesso si richiede che il campione rappresenti la composizione media di tutta una zona di terreno da studiarsi; e ciò si otterrà praticando lo scavo non in un posto solo, ma in più punti differenti, presso a poco uniformemente distribuiti su quella zona; le diverse porzioni di terra scelte uguali fra loro, si riducranno a minuzzoli e si mescoleranno insieme intimamente; e sarà solo dal miscuglio così ottenuto che si prenderà poi la quantità di terra necessaria pel campione definitivo (da 3 a 4 kg.).

Il campione viene riposto e conservato entro sacchetti di tela o di carta forte, ovvero meglio entro vasi di vetro a tappo smerigliato.

Fig. 1ª

2º Colla trivella americana a piattello (Fig. 1ª). - Essa è

un bastone di ferro, lungo 2 metri, diviso in due parti che si possono avvitare insieme. L'estremità inferiore porta un'elica la quale man mano si allarga terminando superiormente a foggia di piattello. Quando si fa affondare la trivella nel suolo girandola con lentezza, la terra segue la spirale e finisce per entrare nel piattello; e così si potranno sollevare dei saggi di terra dentro il piattello ogni qualvolta si tirerà su la trivella dal foro che essa va praticando. Ciò riesce bene specialmente quando il terreno è umidiccio, perchè allora le particelle restano meglio aderenti fra loro.

Questo metodo s'adatta a quei casi in cui vuol si prendere dei saggi a profondità relativamente grande, e nei quali riuscirebbe quindi molto laborioso lo scavare col badile una fossa rettangolare della profondità desiderata. - Le profondità raggiunte dal perforatore si leggono sui tratti, e sprimenti decimetri, incisi sopra l'asta.

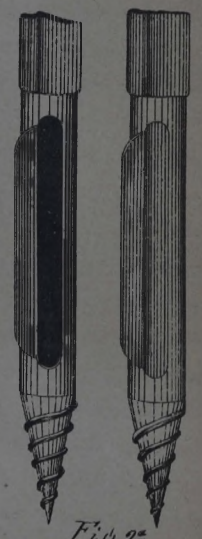


Fig. 2ª

3ª Colla trivella di Frankel (Fig. 2ª). - Nello spessore della porzione inferiore cilindrica (3.5 cm. di diametro) della stanga massiccia della trivella e poco più su dell'elica perforatrice, è praticato un incavo longitu-

dinale (12 cm. di lunghezza, 2 cm. di profondità). Questa cavità viene chiusa da un coperchio girevole, il quale porta un labbro espanso e ripiegato verso l'esterno. Quando si conficca la trivella entro il terreno, il coperchio tiene chiusa la cavità, fino a che la trivella viene girata soltanto nel senso di sinistra a destra. Discesa la trivella a quella profondità da cui si vuole estrarre il saggio di terra (il che si riconosce mediante una graduazione metrica tracciata sulla stanga), l'operatore dà qualche giro in senso inverso a quello dell'introduzione, cioè da destra a sinistra, pel qual fatto l'orlo espanso del coperchio incontra resistenza nel terreno, la cavità si apre, e si riempie completamente di terra. Allora la trivella viene girata di nuovo nel senso primitivo da sinistra a destra, con che il coperchio si richiude; e così la trivella può essere estratta dal terreno senza rischio che il saggio preso alla profondità voluta e contenuto nella cavità venga ulteriormente a mischiarsi cogli strati superiori del suolo che la trivella attraversa nel tornare alla superficie.

Questo metodo si applica specialmente per le ricerche batteriologiche sul terreno, perchè allora interessa appunto che il saggio venga, il più che sia possibile, riparato dal contatto di altro terreno e dall'aria esterna.

Per lo studio batteriologico del terreno, resta bene inteso che la camera della trivella deve essere sterilizzata prima dell'introduzione entro terra,

il che si ottiene o esponendola alla fiamma o stro-
finandola bene con carta da filtro sterilizzata. Il
saggio portato a giorno dalla trivella, viene subito
dopo estratto dalla cavità mediante spatola pure
sterilizzata; la terra deve essere immediatamente
versata e rimescolata entro un matraccio od un
tubo contenente gelatina per la cultura dei microbi.

4°= Col cilindro metallico di Flügge (Fig. 3ª).-

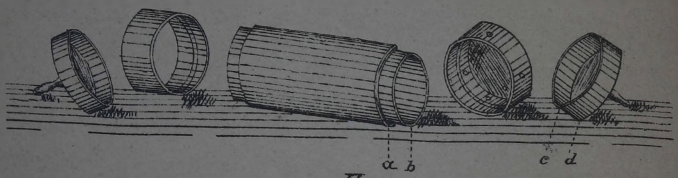


Fig. 3ª

Esso è un cilindro cavo d'ottone a pareti piuttosto
grossa, della capacità di 400 a 500 cm³, che si può chiu-
dere sopra e sotto mediante due coperchi, ciascuno
dei quali è forato nel centro e fornito esteriormente
di un tubetto porta-gomma. I coperchi hanno altez-
za tale che quando il cilindro sta chiuso, i dischi o fa-
si dei coperchi combaciano perfettamente contro
gli orli del cilindro; cioè ab è lungo quanto cd. Inol-
tre sul cilindro possono essere adattati due altri pez-
zi cilindrici di ricambio, i quali eccedono di circa un
centimetro l'altezza ab dei bordi del cilindro. Uno
di questi pezzi è d'acciaio, aperto da ambe le parti,
e porta un orlo (quello cioè che deve rimanere op-
posto al cilindro) assai tagliente. L'altro pezzo invece
è d'ottone, e forma come una specie di coperchio nel

quale sono praticati alcuni fori.

Quando si vuol prelevare un campione di terra con questo strumento, si adattano al cilindro il tagliente d'acciaio ed il coperchio coi fori; poi appoggiato l'orlo affilato del tagliente sopra il terreno, con colpi regolari dati mediante una mazza di legno sul coperchio superiore del cilindro, si fa affondare a poco a poco il cilindro entro terra fino a che questa apparisca aver raggiunto i fori del coperchio. L'aria contenuta nel cilindro, potendo liberamente sfuggire dai fori del coperchio, non opporrà alcuna resistenza alla penetrazione della terra entro il cilindro stesso. Ciò fatto si disseppellisce il cilindro, scavando la terra tutt'intorno; il coperchio superiore coi fori viene tolto, e sostituito con uno dei coperchi muniti di tubo porta-gomma, dopo avere con cura raso ed appianato mediante una spatola la superficie della terra sporgente dal cilindro fino a ridurla allo stesso piano dell'orlo. Poscia si rovescia l'apparecchio, si leva a sua volta il tagliente, e dopo aver uguagliata anche quì la superficie della terra, vi si applica il secondo coperchio a porta-gomma.— Così si avrà contenuto dentro l'apparecchio un cilindro di terra; la prova riuscirà più facilmente se il terreno è compatto, di grana fina ed alquanto umido.— Acciocchè la terra non ostruisca i tubi portagomma, si avrà la precauzione di munire con un dischetto di rete metallica l'orifizio dei tubi dalla parte interna dei coperchi.

Operando col cilindro di Flügge si ha il vantaggio grande di non spostare le particelle terrose del saggio dalla disposizione che avevano quando facevano parte del suolo, e di non alterare in veruna guisa il volume naturale del terreno. Pertanto noi adopreremo il cilindro di Flügge di preferenza per estrarre i saggi di terreno sui quali si abbiano da studiare le proprietà fisiche della porosità, della permeabilità ecc.

I due coperchi ed i bordi del cilindro debbono essere ben torniti, anzi sarà utile spalmarli di grasso acciocchè la chiusura del cilindro risulti a tenuta d'aria, per ragione che si vedrà in seguito. Per meglio assicurarci della perfetta chiusura, dopo di aver riempito di terra il cilindro potremo intonacare con un leggero strato di paraffina ovvero del mastice detto arcanson (3 parti di cera vergine fuse insieme con una parte di colofonia) le commessure esistenti fra il cilindro ed i coperchi.

Per le esperienze da farsi col cilindro di Flügge, è necessario prima di adoperarlo all'estrazione del terreno, procurarci la conoscenza di due costanti dello strumento, cioè:

Il Peso, determinandolo ad una bilancia ordinaria che con un carico di 4 o 5 kg. conservi ancora la sensibilità almeno al grammo. Il cilindro si peserà vuoto coi due coperchi a portagomma, e con uno strato d'intonaco sulle commessure approssimativamente uguale a quello che si darà in

seguito quando il cilindro conterrà la terra.

La Capacità, e questa la si deduce immediatamente dalle dimensioni del cilindro stesso. Se la lunghezza del cilindro è l, ed il suo diametro interno è d, il volume interno sarà: $V = \frac{1}{4} \pi d^2 l$.

II. Essiccamento dei saggi di terreno

Prima d'intraprendere la determinazione delle proprietà di un saggio di terreno, devesi essiccarlo ossia scacciare l'acqua che giace interposta fra le particelle terrose.

Se il saggio è stato raccolto col primo dei metodi esposti e quindi è costituito da terra rimaneggiata, allora si potrà ottenere il conveniente essiccamento stendendo semplicemente la terra in sottile strato su di una larga superficie e lasciandola esposta per qualche giorno all'aria libera, al riparo però dal sole e dalla pioggia. In inverno la si terrà in camere moderatamente riscaldate. Si può anche essiccare la terra entro le comuni stufe di essiccazione; ma in ogni caso la temperatura della stufa deve essere mantenuta relativamente bassa (30 - 50°). L'operazione dell'essiccamento sarà prolungata fino a che ripetute pesate dimostrino che il peso della terra è divenuto presso a poco costante. — La terra essiccata con queste regole la si designa col nome di "terra essiccata all'aria (Lufttrockener Boden)".

Se la terra trovasi contenuta nel cilindro di Flügge e deve servire alle esperienze di porosità, di permeabilità per l'aria ecc., allora si effettuerà l'essiccamento mediante una corrente d'aria che richiamata da un aspiratore o meglio da una pompa di Bunsen P (Fig. 4ª) attraversa la terra del cilindro T dopo essersi disseccata gorgogliando nei tubi di Liebig L contenenti H_2SO_4 concentrato, e dopo essersi alquanto riscaldata passando per il serpentino S immerso in un bagno tenuto intorno ai 50°. Come indice del compiuto essiccamento, servirà una cartolina tinta in roseo mediante soluzione di cloruro di cobalto (*) e posta entro

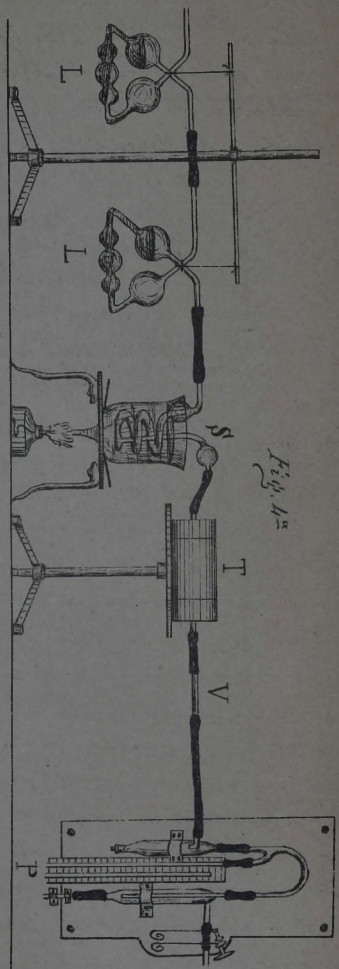


Fig. 4ª

(*) Il cloruro di cobalto cristallizza in cristalli rossi contenenti 6 molecole d'acqua ($CoCl_2 + 6H_2O$).

il tubetto di vetro V intercalato fra il cilindro e la pompa. Quando la cartolina dal colore roseo sarà passata all'azzurro, la terra del cilindro si riterrà completamente asciutta.

III. Analisi meccanica del terreno.

Il terreno è in generale costituito da granelli di differente grossezza insieme meccanicamente mescolati; e poichè dalla grandezza dei granelli dipendono molte proprietà fisiche del terreno, così interessa anzitutto conoscere le proporzioni con cui le particelle terrose a seconda della loro grandezza entrano a far parte del miscuglio.

La divisione di un dato saggio di terra in più porzioni distinte fra loro per la grossezza dei granelli, e la determinazione della quantità relativa di ognuna di esse, si ottengono coll' Analisi meccanica, la quale si vale di due mezzi: lo stac-

---

Quest'acqua può essere facilmente scacciata mediante riscaldamento o mediante esposizione in aria secca, ed allora il $CoCl_2$ prende colore azzurro; il sale azzurro poi lasciato raffreddare e messo in contatto di aria umida, ripiglia l'acqua e con essa il suo naturale color roseo. – Questa proprietà del cambiamento di colore del $CoCl_2$ per effetto dell'umidità e della secchezza dell'aria, viene utilizzata nei cosidetti fori barometrici che devono considerarsi quali semplici igroscopii.

ciamento ed il lavaggio.

Stacciamento.— La forma più conveniente di apparecchio per stacciare la terra è quella data da Muencke (Fig. 5ª). Al l'orlo inferiore di un cerchio d'ottone di 12 cm. di diametro si fissa, mediante chiusura a baionetta, un anello; tra quest'ultimo e il cerchio possono essere adattati e tenuti fermi diversi dischi di lamina sottile di zinco, in ciascuno dei quali sono praticati numerosi fori circolari di determinata grandezza. Lo staccio è inoltre superiormente provvisto di coperchio per impedire la dispersione nell'aria della polvere terrosa più fina, ed inferiormente viene unito ad una cassetta cilindrica atta a raccogliere il prodotto passato attraverso ai fori. I diversi dischi bucherellati, successivamente sostituiti nell'apparecchio, danno luogo ad una serie di sette stacci con fori di grandezze decrescenti; i diametri dei fori sono:

Fig. 5ª

N.° d'ordine dello staccio	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Grandezza dei fori in mm.	10	5	4	3	2	1	0,5

Per eseguire un'analisi meccanica cogli stacci si prende da un saggio di terreno essiccato all'aria una porzione di circa un kg., la quale deve essere accuratamente pesata. Se nella porzione pesata si trovano ciottoli un pò grandi, si comincia dal togliere questi dopo averli strofinati con una spaz-

zola per distaccare le particelle terrose ad essi aderenti; questi ciottoli vengono pesati a parte. Dopo ciò si staccia la terra; se essa contiene della ghiaia, allora si fa passare la porzione pesata per tutta la serie dei sette stacci; altrimenti, se il terreno è a grana piuttosto fina, si può cominciare subito dallo staccio avente i fori di 2 mm. di diametro, cioè si adoprerannno solo i tre ultimi stacci della serie.

Mentre la terra passa per gli stacci, si cercherà col dito di sgretolare le pallottoline terrose formate da materiali più fini insieme aderenti. Se queste pallottoline mostrassero tanta coesione da resistere alla pressione del dito, allora si potrebbe in precedenza schiacciarle entro un mortaio di porcellana con pestello di legno, avendo però molta cura di non stritolare le pietruzze ed i granelli di sabbia costituenti il terreno.

Ognuna delle porzioni di terra che rimangono successivamente nei diversi stacci, sarà separatamente pesata, e verrà espresso in centesimi il rapporto del suo peso al peso totale del saggio tolto per l'analisi. I numeri così ottenuti daranno dunque le quantità procentuali delle terre a differente grossezza di grana che entrano nella composizione del terreno dato.

Seguendo la proposta di Lauser e Vahrschaffe, noi chiameremo "terreno fino (Feinboden)" la porzione di terra che passa attraverso allo staccio coi fori di 2 mm. (staccio N.° 5). – Questa porzione mediante gli stacci seguenti N.° 6 e N.° 7 viene

ulteriormente divisa in tre altre porzioni.

Supponendo adunque d'aver cominciato collo staccio N.° 5, che è il caso più frequente, avremo alla fine diviso il terreno in quattro porzioni diverse; cioè:

N.° d'ordine della porzione		Diametro dei grani	
Prima	(rimasto sullo staccio N.° 5 a fori di 2 mm.)	Superiore ai 2 mm.	Terreno fino
Seconda	(" " " N.° 6. " 1 ")	Da 2 a 1 mm.	
Terza	(" " " N.° 7 " 0,5 ")	Da 1 a 0,5 mm.	
Quarta	(passato attraverso allo staccio N.° 7)	Inferiore a 0,5 mm.	

Spesso si richiede però una divisione assai più minuziosa di questa, ed estesa anche alle particelle terrose finissime aventi diametri al disotto di 0,5 mm., per le quali tornerebbe quasi impossibile l'ulteriore separazione mediante stacci; ed allora si ricorre al

Lavaggio. — Tra i molti apparecchi immaginati allo scopo di far l'analisi meccanica per lavaggio delle terre daremo la preferenza a quello di Nöbel, non perchè esso sia precisamente il migliore, ma piuttosto perchè oltre all'essere assai semplice e di facile maneggio, può dare risultati sufficientemente buoni, almeno sotto il nostro punto di vista igienico.

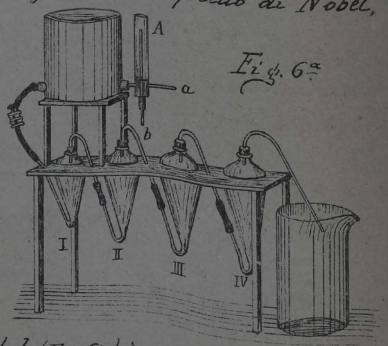


Fig. 6.ª

L'apparato di Nöbel (Fig. 6.ª) è costituito da quat-

tro recipienti od imbuti di vetro aventi forma di pera, disposti su di un sostegno per ordine di grandezza crescente, e riuniti fra loro mediante tubulature a sifone in modo che un tubo partendo dalla bocca superiore di ciascun imbuto va ad immettere nel fondo dell'imbuto immediatamente successivo e più grande. I recipienti hanno volumi che stanno fra loro come $1:8:27:64$ ossia come $1^3:2^3:3^3:4^3$, ed in tutto possono contenere 4 litri di acqua.

Mediante un tubo di caucciù munito di una pinzetta a pressione si mette in comunicazione il fondo dell'imbuto più piccolo con un serbatoio d'acqua di circa 10 litri di capacità, il quale è posto ad una certa altezza al disopra della serie degli imbuti. Il livello dell'acqua nel serbatoio si mantiene costante mediante il tubo di livello A, essendo il tubetto a connesso con un tubo di gomma elastica che va ad un robinetto da cui si fa sgorgare perennemente l'acqua, e servendo il tubetto b per l'efflusso dell'acqua eccedente; in questo modo il lavaggio si compie sotto pressione costante.

L'ultimo imbuto più grande è provvisto di un tubo ricurvo verso il basso, da cui l'acqua dopo avere attraversati gli imbuti, esce a raccogliersi in un recipiente cilindrico sottoposto, della capacità di almeno 5 litri.

L'efflusso deve essere così regolato che quando tutto l'apparecchio si trovi riempito d'acqua, 9 litri effluiscano precisamente in 40 minuti.

Per fare l'analisi si pesano da 30 a 50 grammi

della terra che già è passata per lo staccio coi fori di 1 mm. (*). Questa porzione viene messa in una bacinella di porcellana a bollire con dell'acqua per qualche ora, e la si rimesta continuamente con un bastoncino di vetro in modo che la massa assuma l'aspetto di una sanghiglia finissima. Si lascia raffreddare e depositare alquanto la massa; poi si versa l'acqua torbida sovrastante nell'imbuto III, ed il fondo di melma rimasto nella bacinella lo si versa nell'imbuto II.

Mediante congiunzioni di gomma elastica si fanno comunicare fra loro gli imbuti II, III e IV; si riempiono questi imbuti di acqua; poi aprendo la pinzetta del serbatoio superiore si lascia che l'acqua scenda a riempiere l'imbuto I e solo allorchè questo sia riempito, lo si unisce coll'imbuto II. Ciò fatto si dà principio al processo di lavaggio, si nota l'istante dell'apertura della pinzetta, e si lascia che l'acqua passi attraverso alla serie degli imbuti per 40 minuti di seguito.

L'acqua investendo la terra dell'imbuto II dal basso verso l'alto, ne mette in continuo movimento le particelle (ed in ciò propriamente consiste il lavaggio); e siccome la velocità della corrente, massima nell'imbuto I più piccolo, va gradatamente diminuendo man mano che l'acqua entra e si allarga nei recipienti maggiori, così le particelle più grosse rimangono nell'imbuto II, quelle un pò più fi-

---

(*) In queste norme seguo le convenzioni più recenti stabilite dai chimici agrarii tedeschi.

ne vengono dalla corrente dell'acqua trasportate nell'imbuto III, quelle ancora più fine giungono nell'imbuto IV, e finalmente la polvere finissima effluisce insieme coll'acqua nel recipiente cilindrico di raccoglimento.

Alla fine dei 40 minuti l'acqua deve trovarsi affatto chiarificata entro gli imbuti. Chiusa allora la pinzetta, si lascia che la terra si depositi nei diversi imbuti dov'è rimasta, poi si decanta la massima parte del liquido chiaro sovrastante, infine si versa il deposito di ciascun imbuto in altrettante bacinelle di porcellana precedentemente pesate, nelle quali si fa evaporare l'acqua fino a siccità (*).

L'aumento di peso delle rispettive bacinelle darà il peso dei residui di terra lasciati negli imbuti II, III e IV. La differenza fra la somma dei pesi di questi tre residui ed il peso della porzione di terra assoggettata all'analisi dà senz'altro il peso delle particelle finissime trasportate fino nel recipiente raccoglitore. — Del resto, volendo avere quest'ultimo peso con un procedimento diretto, si può trattare l'acqua del recipiente raccoglitore con una soluzione di sapone, ovvero meglio con una soluzione tiepida di margarato d'ammonio resa debolmente alcoolica, e neutralizzata infine con qualche goccia d'acido acetico (Al. Müller). In questo modo si fa precipitare la polve-

(*) Si potrebbe anche raccogliere i diversi depositi su filtri pesati in precedenza; questi dovranno poi essere debitamente essicati prima di farne la seconda pesata.

re finissima che è tenuta in sospensione nell'acqua; si potrà perlanto in seguito decantare il liquido, poi filtrare il residuo o seccarlo in cassula di porcellana, ed infine pesarlo come pei residui precedenti.

Adunque col processo ora descritto di lavaggio la terra avente i grani di 1 mm. di diametro viene ulteriormente divisa in 4 porzioni distinte fra loro per differente grossezza di granelli; questa divisione però viene fatta con norme del tutto convenzionali.

IV. Porosità del terreno; volume dei pori.

Definizioni. – Le particelle costituenti il terreno non si toccano da tutte le parti, ma lasciano fra loro dei vani o spazietti vuoti da materia solida, cui si dà il nome di pori. Questi pori sono generalmente occupati dall'aria; e talora possono essere riempiuti di acqua. La presenza di siffatti pori o si rivela senz'altro all'occhio, oppure col fatto che il terreno si lascia inzuppare e attraversare dai fluidi (*).

Noi chiameremo porosità la proprietà del terreno di possedere dei pori che sono per lo meno accessibili ai gas, se non all'acqua, cioè che hanno grandezze

---

(*) I pori di cui qui si tratta, nella Fisica sono detti sensibili per distinguerli dai pori fisici cioè da quegli spazi invisibili che sono lasciati liberi dalle molecole nell'interno dei corpi anche più compatti, come il vetro, i metalli ecc.

tali da permettere, per lo meno lo scambio dell'aria in essi contenuta coll'aria esterna alla massa. — In questo senso molte rocce compatte, quali il granito, il marmo ecc, non sono porose; ma i terreni originati dallo sfacelo delle rocce sono tutti qual più e qual meno porosi.

Ci chiameremo poi volume dei pori il volume dato dall'insieme di tutti gli interstizi o pori esistenti in una determinata quantità di terra; volume reale il volume dato dall'insieme di tutti i granelli costituenti la massa solida; volume totale od apparente il volume occupato complessivamente dal terreno coi suoi grani e coi suoi pori.

È chiaro che "il volume dei pori di una data massa di terreno è uguale alla differenza fra il suo volume apparente ed il suo volume reale".

Generalmente il volume dei pori viene riferito al volume totale; e questo rapporto suolsi esprimere in centesimi.

Il maggiore o minore volume dei pori dipende dalla disposizione più o meno addensata delle particelle terrose, dalla forma di queste, e dall'essere il terreno costituito da grani tutti della stessa grossezza ovvero di grossezze diverse.

Calcolo del volume dei pori in terreni omogenei. — Il caso più semplice che possa presentarsi, è quello in cui si abbia da determinare il volume dei pori di un terreno omogeneo, cioè costituito da grani tutti della medesima grossezza. Per questo caso il Hügge, mediante alcune semplici considerazioni teoriche, ha stabilito

i due limiti estremi entro i quali può variare il volume dei pori in rapporto al volume totale del terreno.

Supponendo che i grani, oltre all'essere ugualmente grossi, abbiano forma perfettamente sferica, si possono invero concepire due modi diversi secondo cui i grani possono essere disposti fra loro, corrispondenti uno al caso estremo di massimo addensamento, l'altro al caso estremo di minimo addensamento.

a) La disposizione di massimo addensamento si ha quando ogni sferina giace precisamente nell'interstizio compreso fra due altre sottoposte, in modo da riuscire tangente ad ognuna di queste due che già si toccano fra loro. — Questo caso sarebbe rappresentato da un mucchio di palle disposte a piramide regolare con base trilatera o quadrilatera.

Allora, sempreché si ammetta essere molto grande il numero delle sfere componenti il mucchio, possiamo dimostrare che

"Il rapporto fra il volume degli interstizi o pori che "rimangono fra sfera e sfera, ed il volume totale della "piramide è costante ed uguale al numero 0,2595, "qualunque sia la grandezza delle sfere.

Noi per brevità dimostreremo questa proposizione pel solo caso in cui essendo le sfere del primo strato fondamentale disposte in forma di quadrato, la piramide risulta a base quadrata, con tutti i suoi spigoli uguali fra loro e colle facce che sono tanti triangoli equilateri.

Allora se supponiamo che il numero delle sfere

sia grandissimo, si può ritenere con molta approssimazione che lo spigolo AB alla base della piramide (Fig. 7ª) sia eguale alla retta CE, cioè alla somma dei diametri di tutte le sfere giacenti sul detto spigolo (non differendo la retta AB dalla CE, se non per il doppio del segmento piccolissimo AD). Adunque se il numero delle sfere in ciascuna fila dell'infimo strato è n, ed il loro raggio comune è r, lo spigolo AB della piramide sarà uguale a $2nr$.

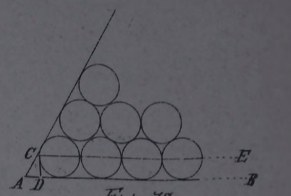


Fig. 7ª

Essendo $2nr$ la lunghezza comune di tutti gli spigoli della nostra piramide, che è a base quadrata e con tutti gli spigoli uguali, il suo volume sarà

$$V = \frac{(2nr)^3}{3\sqrt{2}} \quad (*).$$

(*) Questa formola si può dimostrare richiamando alcuni semplici e ben noti teoremi di geometria elementare.

Chiamiamo a la lunghezza comune degli spigoli della piramide quadrangolare regolare in questione.

L'altezza della piramide sarà rappresentata dalla perpendicolare h abbassata dal vertice V (Fig. 8ª) sul piano della base; il piede 0 di questa perpendicolare divide per metà la diagonale AC del quadrato della

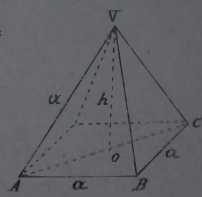


Fig. 8ª

24.

Anche il numero delle sfere contenute nella piramide è noto. Dalla teoria dei numeri piramidali risulta infatti che essendo n il numero delle sfere formanti il lato della base della piramide, il numero

---

base.

Applicando il noto teorema di Pitagora "Il quadrato dell'ipotenusa di un triangolo rettangolo è uguale alla somma dei quadrati dei due cateti" abbiamo per la diagonale AC

$$\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2 = a^2 + a^2 = 2a^2,$$

e quindi

$$AC = a\sqrt{2}.$$

Pertanto nel triangolo rettangolo VOA abbiamo

cateto $OA = \frac{AC}{2} = \frac{a\sqrt{2}}{2}$, cateto $VO = h$, ipotenusa $VA = a$,

e quindi applicando nuovamente il teorema di Pitagora, abbiamo

$$a^2 = h^2 + \frac{a^2 \times 2}{4} = h^2 + \frac{a^2}{2}$$

da cui $h^2 = a^2 - \frac{a^2}{2} = \frac{a^2}{2}$, e $h = \frac{a}{\sqrt{2}}$.

Dunque $\frac{a}{\sqrt{2}}$ è l'altezza della piramide. L'area della sua base che è un quadrato è a^2. Il suo volume, che si ottiene in generale prendendo il terzo del prodotto dell'area della base per l'altezza, sarà dunque

totale delle sfere è $\frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$. Se n è molto grande, tanto da potere in suo confronto trascurare l'unità, il numero totale delle sfere si potrà con approssimazione porre uguale a $\frac{n \times n \times 2n}{6} = \frac{n^3}{3}$.

Ma ogni sfera di raggio r ha il volume $\frac{4}{3}\pi r^3$; quindi il volume V_1 di tutte le sfere prese insieme sarà

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \times \frac{n^3}{3} = \frac{4}{9}\pi r^3 n^3.$$

Adesso se sottraggiamo dal volume totale V della piramide il volume reale V_1 della massa solida, avremo il volume dei pori, cioè

$$\text{Volume dei pori} = V - V_1 = \frac{(2nr)^3}{3\sqrt{2}} - \frac{4}{9}\pi r^3 n^3.$$

Il rapporto x fra questo volume dei pori ed il volume totale della piramide sarà

$$x = \frac{V - V_1}{V} = \frac{\frac{(2nr)^3}{3\sqrt{2}} - \frac{4}{9}\pi r^3 n^3}{\frac{(2nr)^3}{3\sqrt{2}}} =$$

$$1 - \frac{\frac{4}{9}\pi r^3 n^3}{\frac{8n^3 r^3}{3\sqrt{2}}} = 1 - \frac{4}{9} \times \frac{3\sqrt{2}}{8}\pi$$

$$V = \frac{1}{3} \times a^2 \times \frac{a}{\sqrt{2}} = \frac{a^3}{3\sqrt{2}}$$

ed essendo nel nostro caso $a = 2nr$, avremo finalmente

$$V = \frac{(2nr)^3}{3\sqrt{2}}.$$

5.

ossia

$$x = 1 - \frac{\pi}{3\sqrt{2}},$$

dove l'r, raggio delle sfere, è rimasto affatto eliminato. — A calcoli fatti risulta

$$x = 0,2595.$$

Adunque, nel caso di massimo addensamento, il volume dei pori riferito al volume totale, in un mucchio di sferine di eguale grossezza, è affatto indipendente dalla grandezza delle sfere, ed ha il valore costante 0,2595; in altre parole, il volume dei pori ammonta a 25,95 % del volume totale. — Questo è quanto volevasi dimostrare.

b) La disposizione di minimo addensamento ha luogo quando ogni sferina poggia precisamente sul vertice di una sferina sottoposta. — Questo caso sarebbe rappresentato da palle ammucchiate in modo da formare un cubo, ovvero, più generalmente parlando, un parallelepipedo retto.

Allora si dimostra che

"Il rapporto fra il volume dei pori ed il volume totale del parallelepipedo è indipendente dal raggio delle sfere, ed uguale al numero costante 0,4764".

Prendiamo infatti il caso del cubo (Fig. 9ª). Se n è il numero delle sfere giacenti sullo spigolo di base, ed r è il raggio d'ogni sfera, la lunghezza dello spigolo sarà $2nr$, e quindi il volume totale del cubo sarà

$$V = (2nr)^3.$$

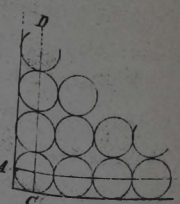


Fig. 9ª

Il numero totale delle sfere componenti il mucchio sarà n^3; cosicchè il volume V_1 di tutte le sfere prese insieme sarà

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \times n^3.$$

E quindi

Volume dei pori $= V - V_1 = (2nr)^3 - \frac{4}{3}\pi r^3 n^3$.

Il rapporto fra il volume dei pori ed il volume totale del cubo sarà

$$x = \frac{(2nr)^3 - \frac{4}{3}\pi r^3 n^3}{(2nr)^3} = 1 - \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 n^3}{8n^3 r^3}$$

ossia

$$x = 1 - \frac{\pi}{6},$$

ed a calcoli fatti

$$x = 0,4764.$$

Adunque nel caso di minimo addensamento, il volume dei pori, in un mucchio di sferine di eguale grossezza, ammonta sempre a 47,64 % del volume totale, qualunque sia il raggio delle sfere; il che è quanto volevasi dimostrare.

Riassumendo, diremo che in un mucchio di grani ugualmente grossi, i limiti estremi del volume dei pori sono rappresentati dal massimo 47.64 % e dal minimo 25.95 %; e questi sono costanti per qualsiasi grossezza dei grani.

Però in un terreno, sia pure omogeneo, la disposizione dei grani non sarà mai nè quella di massimo addensamento nè quella di minimo addensamento; inoltre è da tenersi presente la circostanza che le particelle terrose si scostano gra-

le più eguale meno dalla forma perfettamente sferica che abbiamo supposta nei nostri precedenti ragionamenti; e quindi il volume dei pori non raggiungerà mai nè l'uno nè l'altro dei limiti suddetti.

Pertanto supposto un terreno omogeneo, il suo volume dei pori sarà compreso fra 47,64 % e 25,95 %, e potremo in generale rappresentarlo col numero $(25,95 + d)$ %, dove d è > 0 e $< 11,69$ $(= 47,64 - 25,95)$. L'd esprimerà la deviazione dal limite inferiore causata dalle irregolarità di forma e dalla maniera speciale di aggregazione degli elementi terrosi diversa dal modo di stratificazione delle palle in piramide. Dai ragionamenti fatti, pei casi corrispondenti ai due limiti estremi, appare giustificato l'ammettere che questa deviazione d, per ogni determinata disposizione di grani in terreni omogenei, debba essere costante, qualunque sia la grossezza dei grani, cioè qualunque sia la specie di terreno.

Quando si riempie con terreno omogeneo un recipiente, e mediante ripetute scosse date al recipiente stesso, si fa in modo che la terra rimanga dappertutto addensata uniformemente, le particelle si dispongono naturalmente da loro stesse sotto piccolo volume, il quale sebbene non possa farsi ulteriormente diminuire col continuare a scuotere il recipiente, è però ancora ben lontano dal corrispondere alla disposizione ideale di massimo addensamento. In questo caso è da ritenersi, per ragione

di probabilità, che in quel dato volume di terra, tanti siano i gruppi di particelle che nella loro disposizione si scostano dal limite inferiore di addensamento per avvicinarsi alla media, quanti sono i gruppi di particelle che scostandosi dal limite superiore si avvicinano pure alla media; talchè, prendendo i gruppi nella loro totalità, gli scarti dai due limiti si compenseranno insieme per modo da darci per risultato un volume di pori molto prossimo al valore 36,8 %, che è la media dei due 25,95 e 47,64. — E difatti il Flügge ha verificato che con terreni omogenei, bene stipati entro recipienti, il volume dei pori si trova in media uguale a 36,2 %.

Anche per i terreni presi dal suolo senza rimaneggiamento e lasciati col loro modo naturale di aggregazione, semprechè siano omogenei, il volume dei pori si mostra essere 35 %, cioè solo di pochissimo discosto dalla media 36,8 %.

Se poi, contrariamente alla supposizione finora fatta di omogeneità del terreno, si considerano terreni costituiti da materiali di grana diversa, allora troviamo che il volume dei pori assume valori minori allontanandosi più o meno notevolmente dal valore 36,8 %, e può discendere fino ai valori 25 – 21 %. — In tal caso il volume dei pori dipende essenzialmente dal numero delle specie diverse di terreno insieme mescolate, e dalle proporzioni secondo cui i grani di differente grossezza entrano a far parte del miscuglio.

30.

V. Metodi per determinare il volume dei pori.

1° Mediante l'analisi meccanica, qualora si tratti di terreni pressochè omogenei. - Un giudizio approssimato circa al volume dei pori si può già avere dai risultati dell'analisi meccanica. Se infatti l'analisi meccanica avrà mostrato che un terreno è costituito nella quasi sua totalità da particelle dello stesso ordine di grossezza, ossia è tale che di fronte alla massima parte dei grani, il materiale più grosso e quello più fino di essi sono rappresentati solo da quantità minime, e pressochè trascurabili, allora senza che sia necessario ricorrere ad ulteriori indagini, possiamo subito conchiudere che qualunque sia la grandezza comune dei grani terrosi, il volume dei pori di quel terreno deve all'incirca ammontare a 36 %.

Infatti dalle esperienze del Flügge sappiamo che nei terreni omogenei il volume dei pori oscilla fra 35 e 36,2 %.

Un tale grado di approssimazione nella stima del volume dei pori può in molti casi essere sufficiente.

2° Mediante il riempimento dei pori coll'acqua. (Metodo di Renk). — Entro un recipiente di capacità nota si misuri una certa quantità di terreno secco. — Come recipiente misuratore possiamo valerci del cilindro di Flügge già descritto, col quale

avremo anzi il vantaggio di estrarre dal suolo il terreno e di misurarlo senza rischio di alterare per niun modo il volume naturale dei pori. — Il volume così misurato sarà il volume apparente del terreno; supponiamo che esso sia p.es. 480 cm³.

Si prenda poi un cilindro di vetro graduato in cm³., della capacità di 1 litro, e vi si versino 500 cm³ di acqua. Se ora noi versiamo i 480 cm³ di terra entro il recipiente contenente l'acqua, è chiaro che il livello di questa si alzerà non già di 480 cm³., quale è il volume apparente del terreno, ma si alzerà soltanto di una quantità eguale al volume reale della massa solida costituente il terreno stesso, giacchè l'acqua viene per tal modo a riempiere i pori del terreno prendendo il posto dell'aria che stava prima in essi contenuta. — Per facilitare il discacciamento dell'aria dai pori, sarà utile agitare per bene con un bastoncino di vetro il terreno versato entro l'acqua.

Adunque leggendo l'aumento di volume corrispondente all'innalzamento dell'acqua prodottosi entro al cilindro graduato, dopochè vi si è versato il terreno, otteniamo direttamente il volume reale del terreno.

Sottraendo ora questo volume reale dal volume apparente misurato prima, abbiamo il volume dei pori; e dividendo infine il volume dei pori così ottenuto per il volume apparente, e moltiplicando tale rapporto per 100, abbiamo l'ammontare del volume dei pori in centesimi del volume totale.

A questo metodo che è il più semplice fra tutti, si fa l'obbiezione che l'acqua ottturando molti dei pori più stretti, non può penetrare nei medesimi, e quindi rimanendo ancora una certa quantità d'aria inclusa nei pori del terreno, risultano necessariamente misure inesatte.

3° Mediante il riempimento dei pori coll'acido carbonico (Metodo di Fliigge). — In questo metodo l'aria contenuta nei pori del terreno viene scacciata mediante l'acido carbonico, e quindi raccolta e misurata entro una campanella capovolta su di un bagno di soluzione di potassa caustica, la quale serve ad assorbire l'acido carbonico mescolatosi all'aria.

L'apparecchio si dispone ordinariamente così (Fig. 10ª).

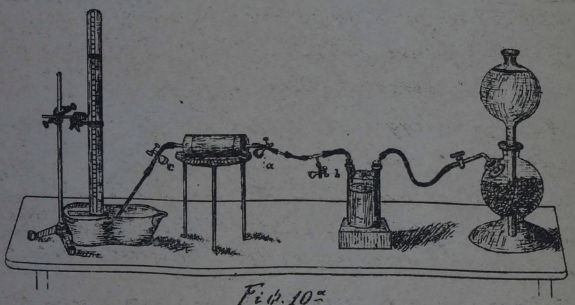


Fig. 10ª

Il gas carbonico si fa sviluppare entro un generatore mercè la solita reazione dell'acido cloridrico su pezzetti di marmo. Il gas prodottosi entra dapprima in una bottiglia di lavarrenti contenente una soluzione di carbonato potassico, la quale serve ad arre-

stare le goccioline della soluzione cloridrica che per avventura potessero essere trascinate dalla corrente del gas. Di qui il gas carbonico passa nel cilindro di Flügge chiuso a tenuta d'aria mercè i due coperchi provvisti di tubetto portagomma e spalmati sugli orli col mastice che già si disse; entro il cilindro sta rinchiusa la terra da studiarsi e che è stata direttamente prelevata dal suolo. — Affinchè l'acido carbonico entri nel cilindro affatto privo d'aria, si suole inserire tra la bottiglia ed il cilindro un tubo di vetro a tre vie, ed inoltre munire le giunture di gomma elastica colle morsette a e b, di cui la a dev'essere vicinissima, quanto più si può, all'orifizio del cilindro; così, chiudendo in sul principio la morsetta a ed aprendo la b, e ponendo in azione il generatore, si farà scacciare dal gas carbonico l'aria contenuta nelle tubulature di condotta e nella bottiglia di lavamento, e solo allorquando si abbia acquistata la certezza che queste siano interamente occupate dall'acido carbonico (il che avviene dopo 2 o 3 minuti di vivace efflusso del gas), si chiuderà la morsetta b e si aprirà la a. Allora l'anidride carbonica, entrando nel cilindro, scaccia dinanzi a sè poco alla volta tutta l'aria che è contenuta nei pori del terreno; quest'aria, mescolata all'acido carbonico in eccesso, passa in un tubo ricurvo di sviluppo invischiato dall'altra parte del cilindro, e va così a raccogliersi in una campana o endiometro graduato in cm^3, rien-

pito di soluzione di KHO e capovolto su di una tinozza contenente la stessa soluzione. La soluzione di potassa dev'essere fatta in modo che la sua densità raggiunga all'incirca il valore 1.3. La soluzione assorbirà a poco a poco l'acido carbonico entrato insieme coll'aria nella campana. - Manovrando la terza morsetta c inserita fra il cilindro di Flügge ed il tubo di uscita del gas, si interromperà a più riprese il passaggio del gas, ed ogni volta si attenderà alquanto tempo per verificare quand'è che la colonna del liquido nell'eudiometro rimane ad altezza costante (*). Quando ciò sia, è segno che tutta l'aria contenuta nei pori del terreno è stata scacciata dal CO_2 e che il CO_2 entrato nella campana è rimasto completamente assorbito dalla soluzione potassica. Allora altro non resta che a leggere il volume dell'aria raccolta nell'eudiometro.

Il volume così letto si potrebbe senz'altro ritenere eguale al volume dei pori del terreno (facendo però pel momento astrazione dalla piccola porzione di aria che contenuta prima entro il tubo di svol-

---

(*) Servendosi della pinzetta c anzichè del robinetto del generatore per arrestare lo sviluppo del gas, si ha il vantaggio di prevenire che la soluzione di potassa, per assorbimento dell'acido carbonico contenuto nel tubo di sviluppo, non salga in questo e penetri nel cilindro a bagnare la terra.

gimento compreso fra il cilindro di Flügge e la vaschetta, è stata pure essa spinta dalla corrente di acido carbonico entro la campana), solo quando la pressione e la temperatura dell'aria nell'eudiometro fossero le stesse di quelle cui era soggetta l'aria quando stava rinchiusa nei pori. Ora siccome questo non è mai il caso, così dobbiamo vedere quali siano le riduzioni necessarie a farsi per dedurre dal volume letto sull'eudiometro il volume proprio dei pori.

La pressione che aveva l'aria nei pori, è data dal barometro osservato durante l'esperienza (*). La pressione dell'aria nell'eudiometro è invece eguale alla pressione barometrica diminuita della pressione esercitata dalla colonna liquida che rimane nell'eudiometro al disopra del livello del liquido nella vaschetta, e diminuita ancora della tensione massima del vapore d'acqua alla temperatura dell'esperienza.

La pressione esercitata verso il basso dalla colonna di soluzione contenuta nella campana deve essere espressa in millimetri di mercurio, per ridurla omogenea colla pressione data dal barometro. Pertanto con un semplice

---

(*) La pressione letta sul barometro devesi, ben inteso, ridurre alla temperatura 0°. Per fare questa riduzione, può servire utilmente la tavola I, messa in fine del volume.

regolo diviso si misurerà in mm. l'altezza della colonna al disopra del livello del liquido nella vaschetta, e poi si moltiplicherà tale altezza per il rapporto fra il peso specifico della soluzione (determinato anche solo grossolanamente coll'aerometro di Fahrenheit o colla bilancia di Mohr — nel nostro caso il peso specifico della soluzione dev'essere circa 1,3) ed il peso specifico 13,6 del mercurio (*).

Siccome l'aria quand'era contenuta nei pori del terreno stato essiccato col metodo già descritto, dovevasi ritenere secca, mentrechè essa, entrando nell'endiometro e gorgogliando attraverso al liquido, si è saturata di vapore acqueo, così dobbiamo togliere dalla pressione del miscuglio di aria e vapore acqueo nell'endiometro la forza elastica propria del vapore d'acqua, ciò che deduciamo dalla tabella II posta in fine del volume, la quale dà, espressa in mm di Hg, la tensione massima del vapore d'acqua alle varie temperature. — La temperatura la si ricaverà

(*) Infatti pel noto principio d'idrostatica che le altezze di colonne liquide esercitanti pressioni uguali stanno in ragione inversa dei rispettivi pesi specifici, avremo chiamando l l'altezza della colonna di soluzione potassica e l_1 l'altezza della colonna di mercurio che produrrebbe una pressione equivalente:

$$\text{i.e. } l_1 = 13{,}6 : 1{,}3, \text{ da cui } l_1 = l \times \frac{1.3}{13\,6}.$$

da un termometro appeso allato alla campana.

Adunque chiamiamo H_0 la pressione barometrica letta e ridotta a 0°, p la pressione in mm. di Hg della colonna liquida dentro l'endiometro, e F_t la tensione massima del vapor d'acqua alla temperatura t dell'esperienza, la pressione che ha l'aria nell'endiometro è $= H_0 - p - F_t$.

Per ridurre il volume V letto di quest'aria al volume V_c che aveva l'aria alla pressione H_0 cioè quando essa era nei pori, basta ora applicare la legge di Boyle-Mariotte «il volume di un gas varia in ragione inversa della pressione»; cosicchè avremo

$$V : V_c = H_0 : H_0 - p - F_t$$

da cui

$$V_c = V \frac{H_0 - p - F_t}{H_0}$$

Potremo però fare a meno del termine p quando si abbia cura di misurare il volume dell'aria nell'endiometro affondando questo nel liquido fino a che il livello interno si eguagli a quello esterno. A questo scopo si chiuderà con un vetrino smerigliato e spalmato di grasso l'orifizio inferiore dell'endiometro, e poi si trasporterà l'endiometro dalla vaschetta entro un profondo cilindro di vetro ripieno d'acqua; la profondità del cilindro permetterà di tuffarvi l'endiometro fino all'altezza voluta, e così si avrà il vantaggio di non dover tener più conto della pressione esercitata dalla colonna liquida nell'interno della campana.

Per ciò che riguarda la riduzione del volume dell'aria nell'eudiometro alla temperatura che aveva l'aria nei pori, il meglio che si possa fare è di eliminare la causa stessa della correzione, cioè di attendere alquanto tempo prima di fare la misura, in modo da assicurarci che il terreno entro il cilindro di Flügge abbia preso sensibilmente la stessa temperatura della camera, che è quella alla quale si fa la lettura del volume nell'eudiometro. — Piccole differenze di temperatura possono d'altronde essere trascurate.

In ogni caso, se si dovesse tener conto della correzione relativa alla temperatura, basterà applicare la legge di Gay-Lussac sulla dilatazione dei gas, moltiplicando cioè il volume V_c per il rapporto $\frac{1+0,00367.t_1}{1+0,00367.t}$, dove 0,00367 è il coefficiente di dilatazione dell'aria, t la temperatura data dal termometro appeso accanto all'eudiometro, e t_1 la temperatura del terreno data da un termometro che, subito dopo finita l'esperienza, venga introdotto dentro il cilindro di Flügge.

Corretto per tale modo il volume dell'aria letto sull'eudiometro, resta ancora a diffalcare da esso il piccolo volume d'aria contenuto nel tubo di svolgimento. La capacità di questo tubo si avrà con approssimazione sufficiente, quando, o prima o dopo l'esperienza, si stacchi il tubo dal cilindro di Flügge colla congiunzio

ne di gomma elastica annessa, si riempia di acqua il tubo e la gomma, ed infine si versi quest'acqua in una provetta graduata, sulla quale si leggerà il volume cercato.

Fatte tutte queste riduzioni e correzioni, noi avremo il volume dei pori del terreno.- Per esprimerlo in centesimi del volume totale, divideremo il volume dei pori per la capacità nota del cilindro di Flügge, e moltiplicheremo questo quoziente per 100.

Il metodo di Flügge offre un grande vantaggio sul metodo precedente, ed è che dopo eseguita una misura, noi abbiamo la possibilità di controllarne il risultato col ripeterla quante altre volte vogliamo. Infatti si può staccare il cilindro di Flügge da tutto il resto dell'apparecchio, ed unirlo ad un aspiratore, col quale si faccia passare entro il terreno una corrente di aria durante un quarto d'ora circa, in modo da essere certi che tutto l'acido carbonico rimasto incluso nei pori dopo la prima misura, ne venga a sua volta staccato e sostituito da aria pura; fatto ciò, il cilindro è pronto per una nuova esperienza, che potremo incominciare immediatamente dopo.

In queste misure non è da tenersi in conto la quantità di acido carbonico contenuta naturalmente nell'aria atmosferica, e che entrando l'aria dei pori nell'eudiometro, vie-

ne sottratta da questa per assorbimento della soluzione potassica. Infatti l'acido carbonico nell'aria si trova in troppo piccola quantità (intorno a 0,35 ‰) perchè possa essere causa sensibile d'errore nei risultati. — Che se poi si temesse che l'aria del suolo contenesse il CO_2 in quantità notevolmente maggiore che nell'atmosfera, basterebbe far passare, prima dell'esperienza, una corrente d'aria entro il cilindro di Flügge per sostituire l'aria del suolo con aria atmosferica; ciò che d'altra parte già si fa, se si adotta il metodo di essiccazione del terreno che è stato suggerito.

4° Mediante la pesata di un dato volume di terreno e la determinazione del peso specifico della sua massa solida. — Si misuri un certo volume di terreno essiccato all'aria, ciò che si farà o versando a più riprese il terreno in uno dei soliti cilindri di vetro graduati in cm.^{3}, ovvero riempiendone una cassetta parallelepipeda o cilindrica di latta di nota capacità (dedotta p. es. dalle dimensioni), coll'avvertenza di picchiare ripetutamente sulla parete esterna del recipiente mentre si fa il riempimento, affine di rendere il terreno omogeneamente compatto. Meglio ancora potremo, anche per questo caso, prelevare direttamente il terreno dal suolo mediante il cilindro di Flügge, e poi essiccarlo nel modo che già si disse, il volume del terreno dentro il cilindro sarà così quello già noto come costante del cilin-

dro stesso. — In ogni caso il volume che così misuriamo è il volume apparente o totale del terreno, cioè il volume complessivo della parte solida e dei pori.

Si faccia poi la pesata di quel volume determinato di terreno. — Per questo, se il terreno è rinchiuso nel cilindro di Flügge, basterà pesare il cilindro pieno, e poi diffalcare dal risultato il peso del cilindro vuoto che si suppone avere pure già determinato prima come costante dello strumento. Infine, col metodo che si descriverà più sotto, si determini il peso specifico (*) della massa solida

---

(*) Il peso specifico di un corpo è il peso dell'unità di volume di quel corpo. Se pertanto P è il peso del volume V di un corpo il cui peso specifico sia p, avremo la relazione:

$$P = Vp, \quad \text{da cui} \quad p = \frac{P}{V};$$

cioè il peso specifico si ottiene dividendo il peso di una porzione qualunque del corpo per il suo volume.

Siccome poi nel nostro sistema metrico si prende per unità di volume il centimetro cubo, e per unità di peso il grammo ossia il peso di un centimetro cubo d'acqua pura a 4 °C, di modo che un numero esprimente volume in centimetri cubi, esprime in pari tempo il peso in grammi di un egual volume di acqua pura a 4°, così il peso specifico sarà pure dato dal rappor-

costituente il terreno. Essendo il peso specifico per definizione il peso dell'unità di volume, se noi dividiamo il peso P sin determinato del terreno per il peso specifico p, avremo per quoziente il volume: $\frac{P}{p} = V$; e questo volume sarà non quello totale, ma quello soltanto della parte solida ossia il volume reale.

Allora, facendo la differenza fra il volume apparente prima determinato e il volume reale ottenuto adesso, avremo il volume dei pori, che esprimeremo come al solito, in centesimi del volume totale.

Siccome il peso specifico varia da terreno a terreno solo di poco (da 2,2 a 2,8, ed il valore che più di frequente s'incontra è 2,66), così qualora occorra di avere il volume dei pori soltanto con grossolana approssimazione, possiamo risparmiarci la determinazione diretta del peso specifico, ed ammettere senz'altro che il peso specifico sia 2,66. In tal caso non ci resterebbe dunque a far altro che a pesare un dato volume di terreno ed a dividere questo peso per 2,66 per avere il volume reale.

(Determinazione del peso specifico). – Il metodo più opportuno per determinare il peso specifico

---

to fra il peso del corpo ed il peso di un eguale volume d'acqua a 4°. – Potremo ciò indicare scrivendo: $p = \frac{P_{corpo}}{P_{(H_2O \text{ a } 4°)}}$

dei granelli solidi costituenti il terreno è quello del picnometro.

Il picnometro è una boccetta di vetro sottile (Fig. 11ª), il cui collo b si chiude con un turacciolo di vetro smerigliato che è attraversato da un termometro. Lateralmente sporge dalla boccetta un tubo quasi capillare c sul quale è tracciata una breve intaccatura m; anche il cannello si chiude superiormente mediante tappo smerigliato.

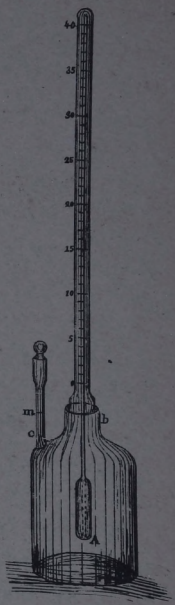


Fig. 11ª.

Per determinare il peso specifico, si comincia dal riempiere completamente la boccetta con acqua distillata, in modo che questa trabocchi dall'apertura superiore, e poi si chiude la boccetta col tappo procurando che dentro di essa non rimanga alcuna bolla d'aria. L'acqua allora sarà spinta ad occupare gran parte del cannello c, ma con pezzetti di carta bibula attorcigliata si toglie l'acqua eccedente in modo che il livello arrivi soltanto fino al segno m; e fatto ciò, si legge la temperatura data dal termometro.

Allora, usando una buona bilancia di precisione, si procede alle tre seguenti operazioni di pesata:

1ª Su di uno dei piatti si pone la boccetta

piena d'acqua, bene asciugata all'esterno, ed a fianco di essa alquanta polvere (10 – 20 gr.) della terra essiccata da studiarsi, tenuta o entro una bacinella ovvero semplicemente su di un foglietto di carta liscia. Sull'altro piatto della bilancia si mette un corpo qualunque il cui peso sia alquanto superiore all'insieme dei pesi dei corpi posti sul primo piatto. Allora per ridurre in equilibrio la bilancia, sarà necessario aggiungere sul primo piatto un certo numero P di pesi numerati.

2.ª Si toglie dal primo piatto la terra, versandola in un'altra bacinella o su di un altro foglietto di carta; mentre che il recipiente o il foglio di carta che prima conteneva la terra, va nuovamente rimesso sulla bilancia. Per stabilire di nuovo l'equilibrio occorrerà mettere, sempre dalla parte della boccetta, una certa somma P' di pesi numerati evidentemente maggiore di P; la differenza $P'-P$ sarà eguale al peso della terra che ora manca dal piatto della bilancia.

3.ª Si prende la boccetta, la si svuota d'acqua, vi si versa dentro la porzione di terra avente il peso $P'-P$, e poi si finisce di riempiere la boccetta con altr'acqua distillata, portandone il livello a coincidere nuovamente col segno m. – Qui è da farsi grande attenzione che l'acqua venga a riempiere ben bene gli interstizi del terreno, e che tutta l'aria dei pori venga scac=

ciata. Per facilitare l'espulsione delle bollicine d'aria converrà agitare la terra, scuotendo il picnometro mentre esso trovasi non ancora riempito completamente d'acqua. Meglio ancora si può mettere il picnometro aperto sotto la campana della macchina pneumatica e fare il vuoto, continuandolo finchè cessi lo sviluppo delle bollicine d'aria che escono dalla polvere terrosa. – Riempita e tappata la boccetta, si legge il termometro; e poi la si riporta sulla bilancia. Per l'equilibrio sarà necessario aggiungere un peso P''' in pezzi numerati. Siccome sul piatto della bilancia abbiamo ora tutti gli stessi corpi che avevamo nella 1ª operazione di pesata (cioè boccetta piena, terra, bacinella o carta) meno una certa porzione di acqua che è quella scacciata dalla boccetta per lasciare il posto al terreno, così la differenza $P''-P$ sarà il peso di quest'acqua, il cui volume è precisamente eguale a quello del corpo.

Pertanto, se in tutte le operazioni la temperatura dell'acqua fosse stata di 4°, si otterrebbe il peso specifico del terreno dividendo senz'altro il peso $P'-P$ della terra per il peso $P''-P$ di un eguale volume d'acqua.

Ad ogni modo il rapporto $\frac{P'-P}{P''-P}$ ci dà già un valore approssimato del peso specifico; e per avere poi da esso il peso specifico esatto, basta moltiplicare $\frac{P'-P}{P''-P}$ per il peso specifico dell'acqua alla temperatura media osservata durante i due riem-

pimenti del picnometro coll'acqua distillata. Infatti sia t la temperatura media osservata (*); e sia p_t il peso specifico dell'acqua a questa temperatura (**). Abbiamo, applicando la definizione del peso specifico:

$$\frac{P' - p}{P'' - p} \times p_t = \frac{\text{peso di un certo vol. di terra}}{\text{peso di eguale vol. d'acqua a } t^\circ} \times$$

$$\times \frac{\text{peso del vol. d'acqua a } t^\circ}{\text{peso del vol. d'acqua a } 4^\circ} = \frac{\text{peso della terra}}{\text{peso di egual vol. d'acqua a } 4^\circ}$$

= peso specifico della terra,

dalle quali eguaglianze si vede che moltiplicando $\frac{P' - p}{P'' - p}$ per p_t viene eliminato il termine esprimente il peso del volume d'acqua t°, cioè rimane il peso del terreno riferito appunto al peso di eguale volume d'acqua a 4°, il che è il peso specifico esatto del terreno (***).

(*) Naturalmente, deve supporsi che avendo fatto i due riempimenti a breve intervallo ed avendo operato in camera chiusa, le due temperature lette sul termometro della boccetta differiscano tanto poco fra loro da potere sia all'una che all'altra sostituire la loro media.

(**) I pesi specifici dell'acqua distillata alle varie temperature si ricavano dalla tabella III posta in fine del volume.

(***) Wollny ha suggerito di riempiere il picnometro con petrolio anziché con acqua, perchè il petrolio aderisce meglio alle particelle terrose ed impedisce che bollicine d'aria rimangano fra i

A tutto rigore però, il valore $\frac{P'-P}{P''-P} \times p_2$ dovrebbe ancora essere corretto pel fatto che le pesate si sono fatte in seno all'atmosfera, dove ogni corpo riceve da parte dell'aria una spinta dal basso verso l'alto eguale al peso del volume d'aria da esso spostata (principio di Archimede applicato ai gas). Per questo fatto i corpi nell'atmosfera pesano in apparenza meno di quelli che essi peserebbero nel vuoto.- Però noi questa correzione per la spinta dell'aria o (come dicesi) questa riduzione delle pesate nel vuoto potremo tralasciarla, attesochè, trattando si di determinare il peso specifico del terreno a scopo di ricerche igieniche, non è mai necessario spingere tant'oltre la precisione delle pesate.

5°. Mediante la determinazione del volume reale del terreno col volumenometro.— Infine avvi uno strumentino, chiamato volumenometro, col quale si può direttamente determinare il volume reale dei corpi porosi o polverulenti. Ottenuto con questo strumento il volume reale di una certa massa di terreno, e determinato il volume apparente della medesima massa coi soliti mezzi, abbiamo dalla semplice differenza dei due volumi, il volume dei pori.- Questo metodo si applica

---

pori del terreno. È necessario però allora conoscere esattamente il peso specifico del petrolio; se esso è d, il rapporto $\frac{P'-P}{P''-P}$ ottenuto come sopra, dev'essere moltiplicato per d per avere poi il peso specifico del terreno.

specialmente pei terreni molto compatti ed a pori finissimi (p. es. l'argilla plastica).

Il Volumenometro nella sua forma più semplice (Fig. 12ª) consiste in un tubo eudiometrico la cui estremità superiore si dilata in una specie di recipiente quasi cilindrico, superiormente aperto, con bordo arrotato, il quale può chiudersi a tenuta d'aria mediante un disco di vetro smerigliato, leggermente unto di grasso. Sul tubo, a partire da un certo segno o posto verso la sua estremità superiore, sono tracciate due scale, una in millimetri, l'altra esprimente centimetri cubi di capacità interna del tubo. Il tubo pesca in un cilindro alquanto largo a piede, contenente mercurio. Infine entro l'espansione cilindrica del tubo sta in permanenza una cassula di vetro o di porcellana, che serve a contenere la porzione di terra di cui vuolsi ottenere il volume reale.

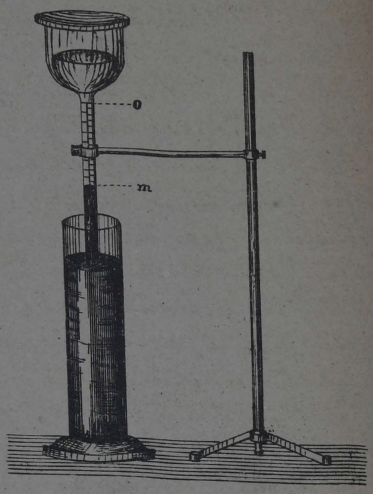


Fig. 12ª

Anzitutto conviene determinare il volume V d'aria compreso fra il segno o del tubo ed il disco di vetro smerigliato cioè la capacità del

recipiente dell'eudiometro, quando esso non contiene altro che la bacinella vuota destinata a ricevere la terra.

Perciò, tenendolo dapprima aperto lo strumento, si affonda il tubo entro il mercurio fino al segno 0; e quando il livello del mercurio, dentro e fuori del tubo, affiora al segno 0, si chiude il recipiente col disco di vetro. In questo modo rimane imprigionato dentro lo strumento un volume V di aria, la cui pressione è data dall'altezza barometrica H letta in quell'istante e ridotta a 0°.

Fatto ciò, si tira un certo tratto del tubo eudiometrico fuori del cilindro contenente il mercurio. Allora il livello del mercurio nell'interno del tubo che nella prima posizione dello strumento giungeva in o alla pari col livello esterno, giungerà nella nuova posizione ad un certo altro punto m, posto al disopra del livello esterno del mercurio, ma alquanto più basso di 0; dimodochè il volume primitivo V dell'aria rinchiusa dentro lo strumento sarà aumentato del numero di centimetri cubi corrispondenti alla capacità interna del tubo fra o e m, numero di centimetri cubi che noi leggeremo sulla scala dei volumi e chiameremo v. La pressione di questo volume V+v di aria non sarà più l'atmosferica H, ma sarà l'atmosferica diminuita della pressione della colonna di mercurio sollevatasi nell'in-

terreno del tubo, al disopra del livello esterno. Chiamando perciò h l'altezza in mm. di questa colonna di mercurio che noi dedurremo dalla scala in mm. incisa sul tubo, la nuova pressione dell'aria sarà $H-h$.

Dunque: la stessa quantità di aria che prima aveva il volume V alla pressione H, ha ora il volume $V+v$ alla pressione $H-h$; e quindi applicando la nota legge di Boyle-Mariotte, si ha la proporzione:

$$V : V+v = H-h : H$$

ossia

$$V : v = H-h : h$$

da cui

$$V = v\frac{H-h}{h}$$

Siccome v, H, h sono tutte quantità note, così si deduce il valore di V che è il volume dello spazio vuoto che rimane nel recipiente del l'endiometro quando nella cassula non c'è la terra.

Operando in modo del tutto analogo, dopo aver posta la terra dentro la cassula, si ha il nuovo volume V_1 dell'aria che in tal caso rimane imprigionata dentro lo strumento. V_1 è in ogni caso minore di V, e la differenza fra i volumi V e V_1 è evidentemente uguale al volume reale del terreno.

VII. Permeabilità del terreno.

Per permeabilità di un terreno si può definire la proprietà che esso ha di permettere il pas-

saggio di un fluido attraverso alla sua massa. Questa proprietà presuppone adunque l'esistenza di pori, ed è anzi una conseguenza immediata della porosità.

Siccome i fluidi rispetto ai quali si studia il contegno del terreno sono l'aria e l'acqua, così dobbiamo per ogni terreno considerare separatamente la permeabilità rispetto all'aria e la permeabilità rispetto all'acqua. Tanto nell'un caso quanto nell'altro si può prendere per misura relativa della permeabilità la quantità d'aria o d'acqua che sotto identiche condizioni e nello stesso intervallo di tempo, passa attraverso porzioni d'eguale estensione e spessore di diversi terreni.

La permeabilità, come conseguenza della porosità, sta in relazione con quella quantità che abbiamo chiamata volume dei pori; ma molto più ancora che dal volume complessivo dei pori, essa si mostra dipendente dalla grossezza dei singoli pori, perchè colla grossezza dei pori varia essenzialmente la resistenza che l'aria o l'acqua incontrano nel muoversi attraverso alla massa del terreno (*). - Pori grandi offrono minore resistenza al passaggio, e quindi concorrono a stabi-

---

(*) Disgraziatamente non abbiamo finora alcun mezzo per determinare sperimentalmente questo fattore così importante nella permeabilità, quale è la grossezza individuale dei pori.

lire un grado maggiore di permeabilità.

Terreni diversi, anche possedendo lo stesso volume complessivo di pori, possono essere permeabili in diverso grado, in quantochè in uno di essi può p. es. essere minore il numero dei pori e perciò maggiore la loro grandezza, in un'altro invece i pori possono essere più numerosi ma più piccoli.

Molto dimostrativa è a questo proposito l'esperienza ideata dal Soyka (Fig. 13ª). Due terreni omogenei, ma distinti fra loro per differente grossezza di grana, sono rinchiusi in scatole lunghe di latta, uguali in sezione ed in altezza. Essendo i due terreni omogenei, sappiamo che il volume complessivo dei pori è lo stesso per entrambi (cioè circa il 36 % del loro volume totale, se le terre trovansi bene stipate nei recipienti); e contuttociò la permeabilità si mostra diversa, perchè se noi attraverso alle scatole fac-

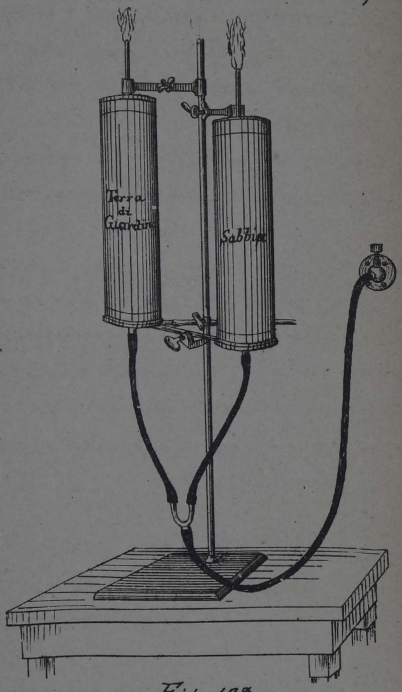


Fig. 13ª

ciamo passare del gas illuminante che viene da un medesimo tubo biforcantesi poi in due tubi minori ed eguali alla base delle scatole, ed accendiamo il gas all'uscita, vediamo che la fiamma più grande è quella della scatola contenente il materiale a grani più grossi, e quindi a pori anche più grandi; la fiamma più grande accenna difatti al passaggio di una maggiore quantità di gas nell'unità di tempo.

Per un medesimo terreno il massimo grado di permeabilità per l'aria si ha quando tutti i pori sono perfettamente liberi, cioè non occupati da altra materia estranea, la quale ostruendo tutti o parte dei pori ovvero diminuendo il volume dei singoli pori, aumenterebbe l'ostacolo al passaggio dell'aria. Viene da ciò che la permeabilità per l'aria è maggiore in un terreno asciutto che nello stesso terreno bagnato. Si dovrà tener conto di questa differenza nelle determinazioni sperimentali della permeabilità dei terreni per l'aria.

VII. Metodi per determinare la permeabilità del terreno per l'aria

Metodo di Renk per pressione. — Renk ha studiato la permeabilità determinando il numero di litri d'aria che in un determinato tempo passano attraverso a tubi di latta alti 25-30

cm. e larghi 5 cm., riempiti della terra da sperimentare.

Siccome per altro qui specialmente importa che il terreno non sia stato smosso acciocchè non venga alterata menomamente la grandezza dei pori, così pare più conveniente lo studiare la permeabilità su cilindri di terra prelevati direttamente dal suolo e lasciati colle particelle terrose nella loro giacitura naturale. A questo scopo può servire anche bene il cilindro metallico di Flügge, purchè ai soliti coperchi a base piatta (*) si sostituiscano dei coperchi tali che permettano alla corrente d'aria di investire il cilindro di terra e di effluire dal medesimo in modo uniforme su tutta l'estensione delle due basi.

(*) Se lasciassimo il cilindro di Flügge coi soliti coperchi, pei quali l'aria sbocca dai tubi portagomma ad immediato contatto colla terra, si verificherebbe l'inconveniente che la velocità dell'aria attraversante il terreno, nelle due porzioni estreme del cilindro, sarebbe massima in corrispondenza degli orifizii, mentrechè nelle parti più lontane degli orifizii essa possederebbe velocità minore. Per uno studio esatto sulla permeabilità è necessario invece che l'aria attraversi le successive sezioni normali del cilindro di terra dappertutto colla stessa velocità.

La Fig. 14ª rappresenta la sezione longitudinale di un tale cilindro; la terra è tenuta in posto da due dischi di rete metallica fissati a cerchi d'ottone che restano premuti tra l'orlo interno del cilindro metallico e l'orlo interno dei coperchi; i coperchi poi hanno forma di calotte sferiche cosicchè rimane tra la loro parete e la terra un certo spazio vuoto; ciascuno dei coperchi è provvisto di un tubo portagomma con chiavetta, e l'uno di essi porta inoltre una seconda chiavetta, la quale serve per stabilire la comunicazione con un manometro di cui si dirà appresso. La presenza delle reti metalliche non influisce sensibilmente nella misura della permeabilità. — Superfluo poi il dire che le commessure del cilindro devono essere bene immasticiate.

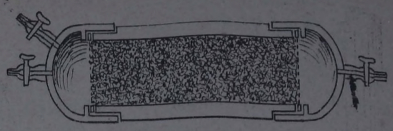


Fig. 14ª

L'apparecchio per l'esperienza si dispone nel seguente modo (Fig. 15ª).

L'aria contenuta in un gazometro di circa 25 litri di capacità viene spinta dalla pressione di una colonna d'acqua a passare entro un contatore, sul quadrante del quale si leggono i litri e le frazioni di litro dell'aria che passa (*). L'a-

(*) Prima di adoperare il contatore, sarà bene in ogni caso esaminarlo per vedere se le sue indicazioni sono esatte, o come dicesi, campionar-

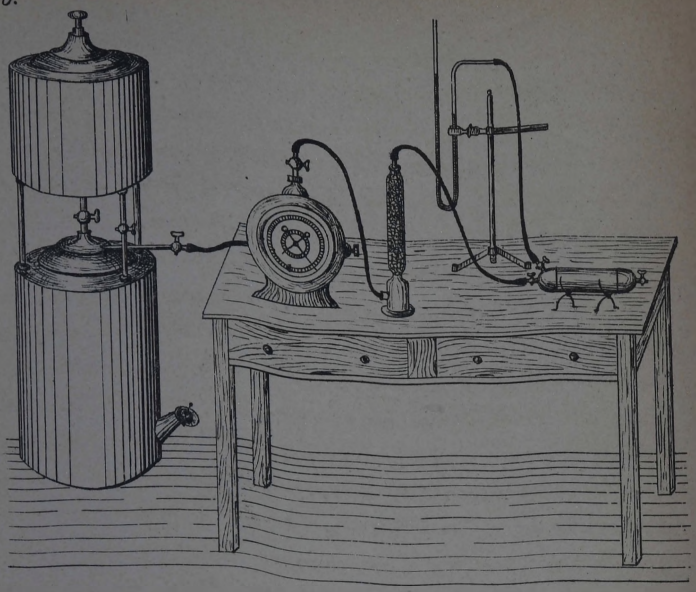


Fig. 15ª

ria attraversando il contatore si satura di vapore d'acqua; epperciò è necessario che essa si dissecchi

---

lo. A questo scopo il tubo del contatore destinato all'uscita del gas (nel caso della figura quello in alto) deve essere congiunto con un aspiratore ad efflusso d'acqua, per mezzo del quale noi possiamo dedurre dal volume di acqua efflusita, il volume d'aria che è entrato nell'aspiratore passando pel contatore. Per fare il campionamento, si nota dapprima la posizione degli indici sul quadrante del contatore, poi si apre il robinetto dell'aspiratore; e dopo che sia efflu-

in uno dei soliti tubi a cloruro di calcio, prima di entrare nel cilindro contenente il terreno. Infatti se l'aria fosse umida, potrebbero delle goccioline d'acqua condensarsi per avventura nei pori del terreno, pel quale fatto verrebbe modificata la permeabilità propria del terreno stesso. Dal tubo essiccatore l'aria entra infine nel cilindro già preparato che contiene la terra; le due chiavette estreme del cilindro devono essere entrambe aperte, e la chiavetta laterale di quello dei due coperchi che sta dalla parte donde viene l'aria, deve essere congiunta con un piccolo manometro ad acqua, il cui dislivello nei due rami ci farà conoscere con quale eccesso di pressione l'aria viene spinta a penetrare entro il terreno.

---

to un certo numero esatto di litri d'acqua, si chiude il robinetto e si legge la nuova posizione degli indici. Se la differenza fra le due letture esprime un volume coincidente con quello noto dell'acqua effluita, il contatore è esatto; altrimenti si deve cercare quale sia il valore vero in litri di ciascuna divisione del quadrante del contatore, il che si ottiene dividendo il volume in litri di acqua effluita per la differenza fra le due letture fatte. Di questo quoziente si dovrà poi tener conto in tutte le successive misure fatte mediante il contatore, col moltiplicare per esso il numero di divisioni che si legge sul quadrante.

Dopo avere disposte così le cose, per eseguire una misura di permeabilità, si comincia dal leggere la posizione iniziale degli indici del contatore, ovvero anche, col soffiarvi o coll'aspirarvi dentro, si conducono gli indici a zero; poi ad un dato istante notato su di un orologio o meglio su di un contasecondi si apre il robinetto del gazometro, con che si mette in azione il contatore e si fa passare l'aria pel terreno. Dopo trascorso un intervallo di tempo più o meno lungo secondo che parrà meglio, si arresta la corrente dell'aria col chiudere il robinetto del gazometro, e contemporaneamente si nota all'orologio l'istante della chiusura. Si leggerà poscia sul quadrante del contatore la posizione finale degli indici.

La differenza fra le due letture fatta prima e dopo al contatore, moltiplicata pel fattore di correzione (valore vero in litri d'ogni divisione) dello strumento, e divisa pel numero dei minuti che è durata l'esperienza, ci dà il numero esatto di litri d'aria che ha attraversato la terra nell'intervallo di un minuto.

Però è chiaro che per avere un criterio della maggiore o minore permeabilità del terreno, devesi pure tener conto della differenza di pressione segnata dal manometro durante l'esperienza, perchè se la pressione con cui l'aria entra nel terreno, si rende maggiore, naturalmente anche la quantità di aria

che passa, dovrà essere maggiore. Anzi, per le velocità di corrente d'aria non troppo forti, si riscontra la legge che la quantità d'aria che passa nell'unità di tempo è proporzionale alla differenza di pressione esistente fra le due estremità del cilindro di terra.

Se poi noi ripetessimo l'esperienza sempre colla stessa specie di terreno, ma adoperando cilindri di diversa sezione o di diversa lunghezza, allora si troverebbe che la quantità d'aria che passa nell'unità di tempo è direttamente proporzionale all'area della sezione, ed inversamente proporzionale alla lunghezza dei cilindri impiegati.

Tutte queste leggi si possono raggruppare in una sola formola. Se indichiamo con V il volume d'aria che passa nell'unità di tempo, con $h - h'$ la differenza di pressione dell'aria alle due facce d'entrata e d'uscita del cilindro di terra, con S la sezione e con L la lunghezza di questo, introducendo un certo fattore C di proporzionalità, potremo scrivere

$$V = C \frac{S}{L} (h - h').$$

Coefficiente di permeabilità. — Il numero C lo potremo chiamare coefficiente di permeabilità; e siccome facendo $S = 1$, $L = 1$, $h - h' = 1$, la formola si riduce a $V = C$, così questo coefficiente di permeabilità C esprimerà la quantità

d'aria che nell'unità di tempo passa attraverso ad un cilindro di terra la cui lunghezza sia 1, la cui sezione sia pure 1, e quando la differenza di pressione fra le due basi del cilindro sia 1. — Ben inteso che resta completamente in nostro arbitrio lo stabilire queste unità in un modo piuttosto che in un'altro.

Il coefficiente C è variabile da terreno a terreno. Se sperimentiamo su di un altro terreno, ma collo stesso cilindro di sezione S e di lunghezza L, e se manovrando la chiavetta da cui viene l'aria, facciamo in modo che si conservi lo stesso eccesso di pressione $h - h'$ di prima, avremo una formola analoga alla (1), cioè

$$V' = C' \frac{S}{L} (h - h'),$$

e quindi sussisterà la proporzione

$$V : V' = C : C',$$

cioè le quantità di aria passate nell'unità di tempo attraverso alle due specie di terreno, stanno fra loro come i rispettivi coefficienti di permeabilità. E' perquesto che al numero C si potrà dare anche il nome di permeabilità specifica del terreno.

In ultima analisi, quando si abbiano da studiare più terreni diversi, li rinchiuderemo successivamente entro lo stesso cilindro di metallo, e determineremo la quantità d'aria che passa nel cilindro durante uno stesso

intervallo di tempo, facendo in modo che il dislivello del manometro si mantenga costante in tutte le esperienze. I numeri che così otterremo, ci serviranno a disporre quei diversi terreni in serie crescente per ordine di permeabilità all'aria. Rappresentando con 1 la quantità d'aria passata nell'unità di tempo attraverso al meno permeabile, si potranno rappresentare in misura relativa, con numeri maggiori dell'unità, le permeabilità specifiche di tutte le altre specie di terreno.

Metodo per aspirazione. — Finalmente è da notare che la permeabilità può anche determinarsi producendo il passaggio dell'aria attraverso il terreno mediante aspirazione, anzichè mediante pressione come sopra è stato indicato. Per questo, l'esperienza precedente va modificata congiungendo semplicemente il cilindro di metallo con un aspiratore. Come tale può anche servire una grossa bottiglia piena d'acqua, dalla quale l'acqua sgorghi per un robinetto adattato nella parte inferiore del recipiente. Il vuoto che tende a formarsi entro la bottiglia a causa dell'acqua che effluisce, richiama dal di fuori una corrente d'aria, la quale giunge nella bottiglia attraverso al terreno. L'acqua effluita dall'aspiratore in un determinato intervallo di tempo può servire essa stessa alla misura del volume d'aria che ha attraversato la terra, senza che in-

questo caso occorra alcuno speciale contatore.- Il manometro dovrà essere applicato a quello dei coperchi del cilindro che sta dalla parte dell'aspiratore.

Permeabilità del terreno umido. — Nelle esperienze precedenti si è supposto che il terreno dovesse essere completamente asciutto. Ma è anche molto interessante vedere in qual modo la presenza dell'acqua nei pori fino a completa imbibizione del terreno modifichi la permeabilità di questo.

Per imbibire d'acqua il terreno contenuto dentro il cilindro di metallo, si fa passare dentro il medesimo una corrente d'acqua dal basso all'alto; poi tolto il tubo di gomma elastica che serve alla condotta dell'acqua, si lascia sgocciolare ben bene il terreno.

Per misurare poi la permeabilità del terreno reso per tal modo umido fino a saturazione, si userà o l'uno o l'altro dei metodi succennati, senza alcuna modificazione.

Si trova così che in generale pei terreni a grana piuttosto grossa (p.es. la ghiaja) la presenza dell'acqua modifica relativamente soltanto di poco la loro permeabilità per l'aria, mentrechè pei terreni a grana molto fina e compatti (p.es. l'argilla) l'acqua può fare diminuire la loro permeabilità al punto da doverli ritenere come affatto impermeabili allo stato di completa imbibizione.

Ammon ha fatto pure studi sull'influenza di diversi gradi di umidità sulla permeabilità della sabbia di quarzo.

Metodo di Heinrich per il terreno in posto. — R. Heinrich ha ideato un metodo che si presta per studiare la permeabilità del terreno sul posto. — Una cassetta guarnita a robuste pareti di zinco C (Fig. 16ª), avente la sezione di 100 cm.² e l'altezza di 20 cm., viene conficcata nel suolo sino alla profondità di 10 cm.; e per tal modo le pareti della cassetta limitano dentro al suolo un cubo di terra di volume uguale a 1 litro. Acciocchè la cassetta venga ogni volta affondata nel terreno sino all'altezza precisa di 10 cm., c'è una lamina di zinco larga 5 cm. che infissa normalmente sulle facce esterne della cassetta a 10 cm. di distanza dall'orlo inferiore, gira tutt'intorno alla medesima. La porzione della cassetta che rimane al disopra del livello del suolo, è chiusa e serve quale serbatoio d'aria; essa mediante un'appendice laterale ed un tubo comunica colla grossa bottiglia B di 10 litri di capacità. Se dalla bottiglia A posta più in alto, mediante un sifone si fa passare dell'acqua nella bottiglia B, l'aria in questa conte-

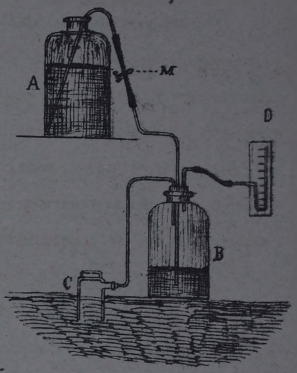


Fig. 16ª

nuta viene ad essere compressa e cacciata attraverso al cubo di terra rinchiuso dentro la cassetta. Un manometro D ad acqua od a mercurio, congiunto colla bottiglia B misura la pressione dell'aria. Questa pressione può essere aumentata o diminuita a piacimento sollevando od abbassando più o meno il serbatoio d'acqua A.

Per fare una misura, si lascia dapprima passare tanta acqua nel recipiente B fino a che il manometro segni la pressione voluta; poi si interrompe l'efflusso dell'acqua stringendo la morsetta M applicata al tubo di gomma elastica del sifone, e si attende uno o due minuti. Se in questo frattempo la pressione è diminuita, si lascia cadere altr'acqua nella bottiglia B, fino a che sia nuovamente raggiunta la pressione primitiva. Ripetendo successivamente più volte questa operazione dello stringere ed allentare la pinzetta, in modo da mantenere la pressione costante, si viene a conoscere il tempo che è necessario perchè 10 litri di aria passino attraverso ad un litro di terra, sotto una determinata altezza del manometro. — Questo tempo può prendersi come misura della maggiore o minore permeabilità del terreno per l'aria.

Anche in queste prove devesi tenere conto del grado di umidità del terreno che si esamina. Generalmente anzi, prima dell'espe-

rienza, il terreno viene a bella posta imbibito di acqua, per studiare appunto la permeabilità del terreno allo stato di completa imbibizione; misure importantissime perchè servono a stabilire se convenga o no eseguire drenaggi in un dato suolo.

VIII. Capacità per l'acqua

Definizioni; capacità in genere. — Chiama si in genere capacità per l'acqua la proprietà che ha il terreno di trattenere fra i suoi pori una certa porzione dell'acqua che con esso venga a contatto.

Così se versiamo dell'acqua in eccesso su di un blocco di terra ovvero meglio su terra contenuta in un cilindro di latta a fondo bucherellato, vediamo che l'acqua penetra nell'interno della massa terrosa; e avvertiamo che essa filtra bensì attraverso al terreno, ma che però non tutta l'acqua versata filtra, che anzi, nel passaggio attraverso alla terra, una parte di acqua rimane trattenuta nei pori.

La maggiore o minore quantità di acqua che ogni singolo terreno può trattenere, stabilisce il grado della capacità per l'acqua del terreno stesso.

Se ripetiamo l'esperienza precedente con volumi eguali di due terreni differenti, versando sopra entrambi una medesima quanti

tà d'acqua, e raccogliendo l'acqua che filtra, fino a che i terreni non ne lascino più sgocciolare, troviamo che la quantità filtrata attraverso ad un terreno è maggiore o minore di quella filtrata attraverso all'altro; e con ciò resta dimostrata la diversa capacità dei due terreni per l'acqua.

Fattori determinanti il grado di capacità per l'acqua. — La capacità del terreno per l'acqua, che è pure essa conseguenza della porosità, dipende anzitutto dalla grossezza dei singoli pori, perchè quanto più piccoli sono i pori, tanto più essi si mostrano atti a trattenere l'acqua per azione di capillarità, e tanto maggiore è la superficie che si presta all'adesione fra solido e liquido. - Terreni a grana grossa e quindi con grossi pori lasciano filtrare l'acqua con tutta facilità, ma in pari tempo ne trattengono una quantità minore che i terreni a grana fina ed aventi pori minuti e numerosi.

Inoltre la capacità per l'acqua dipende dal carattere chimico e mineralogico degli elementi del terreno; e infine dalla ricchezza del terreno in sostanze organiche, perchè le sostanze organiche sono già atte per se stesse ad imbibirsi d'acqua.

Capacità completa e capacità assoluta. — L'adesione e l'azione capillare, in quanto sono la causa prima ed essenziale per cui una porzione d'acqua rimane trattenuta fra i pori, fanno con-

trasto colla forza di gravità; per la quale invece l'acqua tende ad effluire tutta quanta dal terreno filtrando verso il basso. I limiti fra i quali può esercitarsi l'azione di quelle due forze in opposizione a quella di gravità, determinano due modificazioni o gradi diversi di capacità per l'acqua; una detta capacità completa o massima che si ha quando tutti i capillari del terreno sono riempiti con acqua, l'altra distinta col nome di capacità assoluta o minima, la quale rappresenta la quantità minima di acqua che in ogni caso, malgrado libero efflusso, viene trattenuta dal terreno, se a questo stia a disposizione un eccesso d'acqua.

IX. Metodi per determinare la capacità per l'acqua.

Primi metodi adoperati. — a) In una bacinella di porcellana si mettono 100 gr. di terreno asciutto, e poi vi si versano sopra 100 cm³ d'acqua distillata, nel mentre che si rimescola bene la terra con un bastoncino di vetro acciocchè tutto il terreno riesca bene imbevuto d'acqua. Poscia si versa il terreno in un imbuto, nel quale si trova un filtro inumidito con acqua, e si sciacqua terreno e bacinella con altri 100 cm³ d'acqua distillata che si lasciano effluire da una pipetta calibrata. L'acqua che scorre giù dal filtro, viene raccolta in un cilindro

graduato in cm³, e cessato lo sgocciolare, se ne legge la quantità. La differenza fra la quantità totale d'acqua adoperata (200 cm³) e la quantità d'acqua raccolta nel cilindro esprime il volume d'acqua trattenuto nei pori di una quantità di terra eguale a 100 gr. Si ottiene in questo modo quella capacità del terreno per l'acqua che abbiamo chiamata massima o completa.

b) Questa capacità massima si può anche determinare inaffiando 100 gr. del terreno secco con una qualsivoglia quantità d'acqua in eccesso, poi portando il terreno così inumidito in un imbutino dove trovasi parimenti un filtro bagnato. Qui lo sciacquamento si può fare semplicemente con una bottiglia a spruzzo. Si ricopre l'imbuto con un vetro d'orologio per impedire la perdita dell'acqua per evaporazione; e quando l'acqua abbia finito di sgocciolare, si pesa l'imbuto. Siccome l'imbuto dev'essere già stato pesato prima quando era vuoto, così la differenza fra le due pesate, dà il peso complessivo del terreno e dell'acqua in esso trattenuta. Sottraendo quindi da questo peso complessivo il peso dei 100 gr. di terra adoperati, si ha il peso (epperò anche il volume dell'acqua trattenuta (giacchè peso e volume d'acqua nel nostro sistema metrico sono con grande approssimazione espressi dallo stesso numero anche per temperature alquanto discoste da 4° C).

I risultati che si ottengono con questi due

metodi riescono poco precisi e poco comparabili fra loro; essi non possono servire che per una grossolana approssimazione. Per i terreni molto argillosi e umosi tali metodi sono affatto inapplicabili.

Metodo di Wolff modificato da Wahnschaffe. — In questo metodo si adoperano vasetti cilindrici di lamina di zinco del diametro interno di 4 cm., il cui fondo è costituito da una reticella di fili di nichel; quest'ultima deve essere ricoperta dalla parte interna mediante un dischetto di tela fina. Inferiormente alla rete sta saldato un cerchio parimente di zinco, sul cui contorno è praticata una serie di grossi fori come mostra la fig. 17ª. L'altezza del cilindro è tale che a partire dalla rete fino all'orlo superiore, la capacità sua interna è di 200 cm.³ precisi.

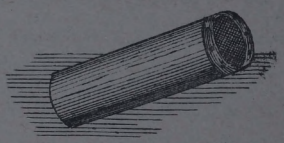


Fig. 17ª

Quando se ne vuole fare uso, si comincia dal pesare il cilindro vuoto dopo avere leggermente inumidito il dischetto di tela; poi lo si riempie con terreno asciutto, scuotendo continuamente il recipiente per fare sì che la terra riesca bene stipata; si raschia via con un coltello la porzione di terreno eccedente dall'orlo; infine si pesa nuovamente il cilindro riempito di terra. Fatto ciò lo si pone ritto in un recipiente largo e poco profondo (in uno dei così

detti cristallizzatori) pieno d'acqua in modo che la reticella metallica del cilindro si trovi immersa per 5-10 mm. al disotto della superficie del liquido. Nella vaschetta possono trovare posto cinque o sei di tali cilindri alla volta. Una campana di vetro viene sovrapposta ai cilindri per impedire possibilmente l'evaporazione dell'acqua (fig. 18ª). In questo modo si lascia che il terreno s'imbibisca coll'acqua tirata su dal basso per assorbimento. Secondo la qualità del terreno è necessario un tempo maggiore o minore acciocchè il terreno comparia imbevuto d'acqua alla sua superficie superiore. Il cilindro deve rimanere sotto la campana fino a che ripetute pesate (eseguendo le quali si tiene il cilindro col fondo poggiato su di una bacinella piatta di porcellana) dimostrino che il suo peso si mantiene pressochè costante. L'aumento finale in peso del cilindro corrisponde alla quantità totale di acqua assorbita e trattenuta nei pori, la quale viene poi rapportata al volume noto del terreno.

Fig. 18ª

Metodo di Mayer per determinare la capacità minima. — Se invece dei vasetti cilindrici su descritti si usassero lunghi tubi di vetro del diametro di 1,5 - 2 cm. ed alti circa un metro, si otterrebbero valori alquanto minori, tostochè la determinazione della capacità per l'acqua si

facesse su saggi di terra presi in punti del tubo situati ad altezze superiori a quella alla quale l'acqua può salire per azione di capillarità. Si otterrebbe così quella capacità per l'acqua che è detta minima od assoluta.

Per determinarla, Adolfo Mayer ha proposto l'uso di due tubi di vetro del diametro interno di 2 cm., uniti fra loro da un corto pezzo di tubo di gomma elastica; l'inferiore è lungo 75 cm., il superiore 25. L'estremità inferiore del tubo più lungo dev'essere chiusa mediante un pezzetto di mussolina legatovi strettamente intorno. L'insieme dei due tubi viene riempito di terreno secco, usando la solita precauzione di scuoterlo ovvero di batterlo moderatamente su di una superficie soffice durante il riempimento. Allora dal disopra si versa tant'acqua in eccesso che il terreno acquisti provvisoriamente lo stato di capacità massima. In seguito l'acqua abbandona in gran parte la porzione superiore del tubo, ed esce filtrando dall'estremità coperta dalla mussolina. Quando sia cessato lo sgocciolio dell'acqua, si staccano l'uno dall'altro i due tubi, e nella porzione vicina alla congiunzione di cautcciù si toglie con una spatola un po' del terreno umido, che deve essere rapidamente portato alla bilancia e pesato; poscia si mette il terreno a dissecarsi in una stufa a 100°, e raggiunto il completo essiccamento, lo si pesa.

di nuovo. La differenza fra le due pesate dà la quantità d'acqua che era trattenuta nei pori; mentrechè la seconda pesata ci fa conoscere il peso del terreno secco, dal quale peso ci è facile dedurre il suo volume apparente; facendo pertanto il rapporto fra la quantità d'acqua trattenuta ed il volume apparente di quella porzione di terreno, abbiamo la capacità del terreno per l'acqua. Però questa capacità è la minima, perchè il saggio di terreno umido è stato preso ad un'altezza superiore a quella alla quale l'acqua poteva salire per azione capillare.

Metodo col cilindro di Flügge. — A tutti i metodi sinora esposti si può fare la grave obbiezione che in essi il terreno viene adoperato smosso, non nel suo stato naturale; ed è questa appunto la causa principale per cui ripetendo per controllo le prove su parecchie porzioni tolte tutte da uno stesso terreno, non si riesce quasi mai ad ottenere risultati fra loro concordanti.

Non si va incontro a simile inconveniente, se per determinare la capacità per l'acqua si usa anche qui il cilindro di Flügge modificato coi due coperchi convessi, quale fu descritto a proposito della determinazione della permeabilità del terreno per l'aria.

Il terreno prelevato direttamente allo stato naturale col detto cilindro, dev'essere prima disseccato. Il suo volume è noto; e così pure resta noto il suo peso, avendo pesato il cilindro

prima vuoto e poi pieno. L'acqua la si può fa-
re assorbire dal terreno facendola penetra-
re per le chiavette del cilindro o dall'alto al
basso o dal basso all'alto (*); conviene però me-
glio farla giungere dal bas-
so, e con una certa lentezza,
acciocchè possa l'acqua nella
sua ascesa scacciare bene
tutte le bollicine d'aria con-
tenute nei pori del terreno,
e prendere il posto della me-
desima. A questo scopo può
servire opportunamente la
disposizione accennata dal

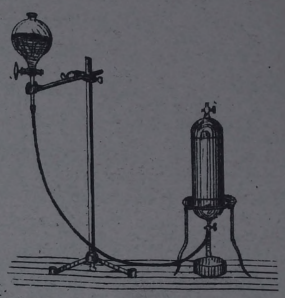


Fig. 19ª

la fig. 19ª, nella quale la pera di vetro conte-
nente l'acqua ed unita mediante tubo di cau-
ciù colla chiavetta inferiore del cilindro metal-
lico, si porta gradatamente ad altezze maggio-
ri sul suo sostegno fino a che le si dà in ulti-
mo una posizione per cui il livello dell'ac-
qua dentro il vaso rimanga alquanto più
elevato che l'estremità superiore del cilindro.
Allorquando dalla chiavetta superiore di que-

(*) Se si teme che ad onta delle reti metalli-
che che tengono in posto la terra, la corrente
dell'acqua possa asportare alquanta polvere
di terreno, si potrebbero inserire dei dischetti di
mussolina umida fra le due facce del cilin-
dro di terra e le reti metalliche.

sto si veda effluire l'acqua, si toglie la comunicazione col vaso di vetro, si lascia sgocciolare per bene il cilindro, lo si asciuga esteriormente, e lo si riporta alla bilancia. L'aumento di peso dall'ultima pesata dà la quantità d'acqua trattenuta; e questa la si può riportare al volume noto del terreno posto in esperimento.

Se si considera che la quantità d'acqua trattenuta rappresenta appunto la somma dei volumi di quei pori che per la loro piccolezza sono capaci di trattenere l'acqua, si vede come interessi anche fare il rapporto fra l'acqua trattenuta ed il volume totale dei pori; il quale volume, nel caso presente in cui si adopera il cilindro di Függe, può essere già stato determinato prima col metodo dell'anidride carbonica.

Metodo di Heinrich. — Questo metodo si distingue da tutti i metodi precedenti in quanto esso si applica fuori del laboratorio, in campo aperto. Un cilindro di robusta lamiera di ferro, di 20 cm. di diametro e 40 cm. di altezza, all'orlo inferiore alquanto aguzzo, viene conficcato nel suolo per la profondità di 1-2 decimetri, mediante colpi dati su due appendici laterali. La sua estremità superiore, a pochi centimetri al disotto dell'orlo, è chiusa da un fine staccio, per moderare l'impeto dell'acqua che si versa. Quando il

cilindro è ben conficcato nel terreno, in modo che l'acqua non possa uscire lateralmente, lo si riempie tutto quanto d'acqua. Questa allora penetra nel terreno; il cilindro ed il tratto di terreno circostante devono essere ricoperti con tavole di legno ovvero con fogli di carta pergamena per diminuire l'evaporazione. Trascorse 18 o 24 ore, si toglie il cilindro, e con una spatola di ferro si preleva un campione, giungendo fino quasi alla metà dell'altezza della massa di terra che stava prima rinchiusa nel cilindro. Dal campione si allontana lo strato più superficiale del terreno, avente lo spessore di 2-4 cm; e poi dalla porzione media del restante terreno imbevuto d'acqua, servendosi di un coltello, se ne taglia un pezzo, che tosto si ripone in una boccetta a tappo smerigliato di cui si conosca il peso. Portato poi il saggio in laboratorio, si pesa anzitutto la boccetta, e così si viene a conoscere il peso della terra umida prelevata. Si ottiene poscia la quantità d'acqua trattenuta dal terreno, facendo essiccare quest'ultimo in una stufa a 100° fino a peso costante, e determinando la perdita finale di peso. La quantità d'acqua trattenuta viene poi riferita o a 100 gr. ovvero ad 1. litro di terreno. — Qualora nel saggio preso si trovassero dei ciottoli di diametro superiore al mezzo centimetro, essi dopo eseguita l'e

sperienza vengono cernuti dal resto della terra, ed il loro peso si sottrae da quello del terreno prima determinato. Della piccola quantità d'acqua che stava prima aderente alla superficie di queste pietre, non occorre tener conto.

X. – Potere Capillare di assorbimento per l'acqua.

Definizione. – Se riempiamo con terra un tubo di vetro chiuso inferiormente da un pezzo di mussolina e poscia ne immergiamo l'estremità chiusa entro un vaso d'acqua anche per un tratto di pochi millimetri, vediamo che tosto l'acqua s'innalza nella massa terrosa, e questa apparisce bagnata. Questo innalzamento del liquido è dovuto ai pori più minuti del terreno, i quali comunicando fra loro per mezzi finissimi, formano come un insieme di tanti canalicoli capillari, entro cui l'acqua si solleva per la nota azione di capillarità, alla stessa guisa che essa si solleva nei tubetti di vetro a diametro capillare. E nello stesso modo che l'altezza a cui arriva l'acqua entro i tubi capillari è limitata, ed è maggiore o minore a seconda dei diametri più o meno sottile dei tubi, così vedia-

mo pure che l'inalzamento del liquido nel tubo ripieno di terra dallo strato immerso progredisce fino ad un certo punto, ed indi cessa; ed il limite a cui arriva l'acqua, è variabile colla specie di terreno, essenzialmente in dipendenza dalla forma e finezza dei suoi capillari. — Sul fenomeno esercitano pure influenza, ma in modo secondario, la temperatura e la presenza di sali solubili nel terreno.

Questa proprietà del terreno di fare inalzare l'acqua entro la sua massa per azione dei suoi capillari, viene chiamata potere capillare di assorbimento per l'acqua.

Determinazione relativa del potere assorbente. — Noi non abbiamo mezzi per determinare questo potere in misura assoluta; possiamo soltanto stabilire esperienze di confronto fra terreno e terreno.

A questo scopo si sceglie una serie di tubi lunghi un metro col diametro interno di 2 cm.; il loro orifizio inferiore si chiude con mussolina fina, fissandovela con un anello di cautciù (Fig. 20ª). I tubi vengono riempiti ciascuno con una diversa qualità di terra, bene asciugata, usando la solita avvertenza di battere spesso sulla parete esterna del tubo, affine di rendere il terreno uniformemente compatto; e poi disposti verticalmente su di sostegno comune, in modo

che le loro estremità inferiori peschino per 1-2 cm. in una tinozza piena d'acqua.

Ora servendoci di un'asta metrica, si osserva per ciascun tubo il tempo necessario perchè l'acqua vada ad inumidire il terreno fino all'altezza di 20-30-40-50-60-70 cm., ed in quanto tempo essa raggiunge il massimo dell'ascesa. — Devesi in ciò avere cura di sostituire con nuova acqua quella che viene man mano a mancare nella tinozza per l'assorbimento da parte del terreno, in modo da tenere costante il livello dell'acqua nella vaschetta.

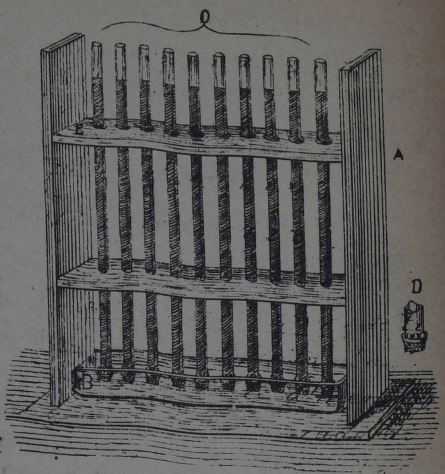


Fig. 20ª

Le esperienze comparative del potere assorbente dei diversi terreni, possono anche essere fatte col misurare le altezze cui giunge l'acqua in un determinato intervallo di tempo, come 24-48-72-96-120 ore.

È necessario però aggiungere che i risultati di tutte queste esperienze sono soltanto approssimati, e che ripetendo le prove, non sempre riescono concordanti; e di ciò è causa prin-

pale la difficoltà di dare al terreno, con cui si riempie i tubi, uno stesso grado di compattezza, dapper tutto uniforme.

XI.– Metodi per determinare la permeabilità per l'acqua

La permeabilità del terreno per l'acqua detta anche potere di filtrazione, fu già definita al n. VI.

Per misurarla, ovvero per ottenere almeno dei criteri approssimati sul relativo grado di permeabilità dei diversi terreni rispetto all'acqua, si possono adottare metodi di laboratorio oppure stabilire osservazioni dirette sul terreno in posto mediante i pozzi.

Metodo di laboratorio.– Siccome la permeabilità di un terreno per l'acqua dipende essenzialmente dalla grossezza dei pori e quindi dalla disposizione delle particelle terrose, così volendola misurare converrà che il terreno preso in esame si trovi nel suo stato naturale.– Per ottenere ciò, preleveremo come al solito il terreno direttamente dal suolo mediante il cilindro di Flügge, e poi adatteremo sul cilindro le reticelle ed i due coperchi convessi, come si fece per la misura della permeabilità rispetto all'aria (*).

(*) Adoperando il cilindro di Flügge colla leggera modificazione accennata, abbiamo dunque

Inoltre siccome sappiamo che il terreno ha la proprietà di trattenere fra i suoi pori una parte dell'acqua che su di esso viene versata, fino a che non si sia raggiunta la sua capacità massima, così prima di cominciare l'esperienza della permeabilità sarà necessario fare sì che il terreno si imbibisca bene d'acqua fino a saturazione. — Per questo adotteremo anche quì la disposizione descritta a proposito della determinazione della capacità, facendo penetrare l'acqua entro la terra dal basso verso l'alto, in modo che tutte le bollicine d'aria vengano scacciate dai pori.

Ciò fatto si dispone il cilindro in posizione verticale (fig. 21ª), e mediante un tubo di caucciù si congiunge il suo robinetto superiore con un imbuto che si può fissare a diver-

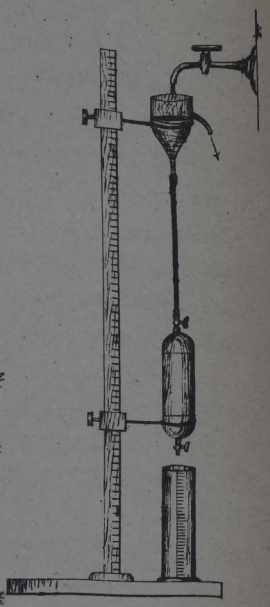


Fig. 21ª

---

il vantaggio di potere studiare successivamente, sempre su di uno stesso saggio di terra, quattro proprietà diverse del terreno, fra quelle che igienicamente sono più importanti. Tali proprietà vanno studiate nell'ordine seguente: 1ª volume dei pori, 2ª permeabilità per l'aria, 3ª capacità per l'acqua, 4ª permeabilità per l'acqua.

se altezze lungo un regolo verticale di legno portante una graduazione metrica. L'imbuto è munito di un tubo laterale; cosicchè se un getto continuo d'acqua si fa cadere entro l'imbuto, il livello dell'acqua non potrà inalzarsi oltre l'imboccatura interna del tubo laterale. In tal modo si ottiene che l'acqua filtri attraverso al terreno sotto una pressione costante, corrispondente all'altezza della colonna acquea compresa fra la faccia superiore del cilindro di terra e l'orifizio interno del tubo laterale dell'imbuto. Questa colonna può rendersi a nostro arbitrio maggiore o minore allontanando più o meno l'imbuto dal cilindro; essa può anche ridursi a pochi centimetri d'altezza, ciò che conviene fare quando trattisi di terreni in alto grado permeabili.

Intanto l'acqua che viene giù dal tubo di cautela, penetra entro il terreno senza più essere trattenuta, essendo già il terreno completamente imbibito; essa filtrerà adunque dai pori della faccia inferiore del cilindro di terra ed uscirà per la chiavetta di sotto. Ad un dato istante notato su di un orologio si colloca sotto la chiavetta un recipiente graduato nel quale l'acqua viene raccolta. Come misura della permeabilità possiamo prendere o la quantità d'acqua (espressa in cm. 3) che passa nell'unità di tempo (minuto primo), ovvero anche il tempo che impiega una determinata quantità di liquido (un litro) a passare attraverso al terreno.

Coefficiente di permeabilità per l'acqua. - In ogni caso vale per la permeabilità rispetto all'acqua una

formola analoga a quella già data a proposito della permeabilità per l'aria, cioè

$$Q = K \frac{S}{L} h ,$$

dove Q esprime la quantità d'acqua filtrata nell'unità di tempo; S la sezione e L la lunghezza del cilindro; h l'altezza della colonna d'acqua, per la cui pressione l'acqua resta spinta a filtrare attraverso al terreno; e K è un coefficiente di proporzionalità variabile da terreno a terreno, che potremo chiamare coefficiente di permeabilità per l'acqua, ovvero permeabilità specifica per l'acqua. Esso rappresenta la quantità di acqua che nell'unità di tempo filtra attraverso ad un cilindro di terra di sezione 1. di lunghezza 1, e quando l'altezza della colonna premente è = 1.

L'esperienza su descritta riesce poco bene coi terreni argillosi. I terreni molto argillosi si mostrano difatti poco o punto permeabili all'acqua. Essi sono bensì porosi allo stato asciutto, ma bagnandosi ed assorbendo l'acqua, formano con questo una specie di malta, ed i pori si ostruiscono, cosicchè rimane vietato ogni ulteriore passaggio all'acqua.

Determinazione approssimata della permeabilità mediante le osservazioni coi pozzi. - La quantità di acqua del sottosuolo che in un determinato intervallo di tempo affluisce allo scavo di un pozzo è dipendente dalla resistenza che l'acqua trova nel passaggio attraverso al terreno circostante, cioè dalla permeabilità maggiore o minore di questo. Pertan-

to se col mezzo di una pompa idraulica si fa abbas=
sare il livello dell'acqua in un pozzo per un cer=
to tratto, si ristabilisce il livello primitivo in tan=
to minore tempo quanto più permeabile è lo stra=
to di terreno entro il quale si muove per infiltra=
zione la falda acquea; e se poi si vuole mantenere
in un pozzo un determinato livello costante dell'ac=
qua più basso del normale, sarà necessario pom=
pare nell'unità di tempo una quantità d'acqua
tanto maggiore quanto più rapidamente l'acqua
sotterranea, per effetto della permeabilità del ter=
reno, affluisce allo scavo del pozzo. - Pertanto si
può stabilire l'osservazione in questo modo: si collo=
ca nel pozzo un apparecchio misuratore di livello
(che verrà meglio descritto più oltre), col quale si pos=
sono leggere su di una scala metrica fissata pres=
so l'orlo del pozzo le escursioni verticali di un gal=
leggiante posto alla superficie dell'acqua, poi estra=
endo l'acqua con una pompa, se ne abbassa il li=
vello per mezzo metro, e ciò ottenuto, si regola la
manovra della pompa in modo che il dislivello re=
sti costante ossia l'indice del galleggiante riman=
ga presso a poco fermo sulla stessa divisione della
scala; l'acqua che frattanto viene pompata, si rac=
coglie in recipienti di capacità conosciuta, e sic=
come essa è evidentemente uguale alla quantità
d'acqua del sottosuolo che nello stesso tempo af=
fluisce al pozzo, così si può calcolare la quantità
media di acqua che in ogni minuto ovvero in ogni
ora entra nel pozzo a causa di un abbassamento

di mezzo metro dal livello normale. Questo numero, quando si tenga pure conto della superficie d'afflusso dell'acqua nel pozzo, servirà a dare un criterio approssimativo intorno alla relativa permeabilità dei diversi sottosuoli per l'acqua, criterio che per molte ricerche locali d'igiene può essere sufficiente.

XII Umidità del terreno.

Acqua di imbibizione e acqua igroscopica; metodi di laboratorio per determinarle. - In generale ogni terreno allo stato naturale è umido, cioè contiene una quantità maggiore o minore di acqua.

Quest'acqua può essere in parte acqua di imbibizione ed in parte acqua igroscopica. Per acqua di imbibizione s'intende l'acqua che aderisce alle pareti dei pori ovvero è trattenuta nei capillari del terreno; per acqua igroscopica devesi intendere quell'acqua la quale è trattenuta per azione chimico-molecolare da certi sali minerali ovvero è tenuta per assorbimento dalle sostanze organiche esistenti nel terreno.

Spesso importa tenere conto separatamente dell'una e dell'altra porzione di acqua.

Per determinare l'acqua di imbibizione, si prendono circa 20. gr. del terreno umido, e si distendono su di una larga bacinella a fondo piatto in modo da formare uno strato sottile dello spessore al più di 3. mm.; la bacinella dopo essere stata pesata, vie-

ne esposta in una camera a temperatura media, in luogo riparato da correnti d'aria e dai raggi diretti del sole. Dopo qualche giorno si ripesa la bacinella, e si ripetono ad intervalli le pesate fino a che il peso si mostri pressochè costante. Allora il terreno sarà essiccato all'aria (Cfr. col n. II), e la perdita finale di peso ci darà l'acqua di imbibizione che era contenuta nel terreno. Questa quantità, devesi esprimere in misura percentuale, rapportandola al peso totale del terreno posto in esperimento.

Per determinare poi la rimanente acqua del terreno cioè l'acqua igroscopica, si prendono 3-5 gr. della terra già essiccata all'aria, e si espongono in una stufa per qualche ora alla temperatura di 100°, oppure si tengono per tre o quattro giorni entro un essiccatore al di sopra di acido solforico concentrato. La nuova differenza di peso corrisponde all'acqua igroscopica; ed anche questa si esprime in misura percentuale.

Se poi si volesse avere in una sola volta tutta l'acqua complessivamente contenuta nel terreno, basterà fare la seconda esperienza testè accennata, prolungandola, fino a completa costanza di peso, su di una porzione de terra di fresco prelevata dal suolo ed ancora umida.

Anche l'esperienza descritta al n. II. per disseccare il terreno contenuto entro il cilindro di Flügge, può servire, quando sia opportunamente modificata, a far conoscere il contenuto d'acqua della terra

del cilindro. Infatti invece del tubetto contenente la carbolina rosea di cloruro di cobalto si intercali fra il cilindro e l'aspiratore un paio di tubi di Liebig contenenti acido solforico. L'umidità del terreno verrà trasportata dalla corrente d'aria a depositarsi nel primo tubo più vicino al cilindro; il secondo, cioè quello che trovasi dalla parte dell'aspiratore, non avrà altro scopo se non quello di trattenere il vapore d'acqua che eventualmente potesse venire dall'aspiratore, in senso contrario alla direzione della corrente d'aria. Adunque se il primo tubo è stato pesato fin da principio, verificheremo con successive pesate che il suo peso va gradatamente aumentando fino a divenire costante; col allora concluderemo che l'aumento finale di peso è precisamente uguale alla quantità d'acqua che prima era posseduta dalla terra, e che ora è passata nel tubo. Conoscendo il peso della terra dentro il cilindro, si potrà infine esprimere il quantitativo d'acqua in centesimi del peso totale.

Criterii per giudicare lo stato di umidità di una regione relativamente estesa. - Le esperienze precedenti ci danno l'umidità di una limitatissima porzione di terra, e quindi il giudizio che con ciò facciamo sull'umidità del suolo, non ha valore se non per breve tratto circostante e per quello strato del suolo da cui si è ricavato il saggio.

Spesso però nelle ricerche igieniche importa di conoscere a un dipresso quale sia l'umidità di un esteso tratto di terreno (p. es. del suolo di una città), ed

a quali variazioni essa vada soggetta. Siccome in tal caso non occorre avere risultati molto precisi, così basta procurarsi alcuni criterii approssimati deducendoli da osservazioni fatte con mezzi semplici.

Tre sono i metodi che si possono applicare.

1. Mediante il lisimetro. - Un grande recipiente cilindrico di lamiera di ferro zincato, con fondo bucherellato, alto da ½ a 1½ metro, viene calato entro una fossa adatta praticata nel terreno, e poscia riempito colla stessa terra scavata dalla fossa. Allora se cade una pioggia, l'umidità del terreno circostante si può ritenere rappresentata dalla quantità d'acqua trattenuta dalla terra del recipiente o lisimetro, quantità che si viene a conoscere pesando il lisimetro col mezzo di una grossa stadera, prima e dopo la pioggia. Si può così fare un calcolo approssimato della quantità d'acqua contenuta in ogni metro cubo di terra.

Disponendo parecchi di questi lisimetri l'uno sull'altro, in modo che le piogge li attraversino per infiltrazione successivamente tutti quanti, e poi pesandoli separatamente, possiamo anche formarci un criterio dell'umidità propria dei diversi strati del suolo compresi fra la superficie e la profondità corrispondente all'altezza complessiva di tutti i lisimetri.

Questo metodo non è certo il più pratico per eseguire osservazioni continuate di umidità. Sull'esperimento esercitano un'influenza variabile

le pareti dei lisimetri e la posizione più o meno esposta al sole ed ai venti data ai lisimetri stessi; ma oltre a ciò l'obbiezione più grave che si possa fare è che il terreno posto entro i lisimetri è terra smossa, e quindi il suo contegno verso l'acqua può essere diverso dal contegno del terreno circostante in istato naturale. Infine è da notare che l'umidità viene per tal modo studiata ancora sempre su limitate porzioni di terra, e quindi le conclusioni che se ne traggono, poco si prestano ad essere estese ad una vasta zona di terreno.

2: Mediante le osservazioni dell'acqua meteorica caduta. - Misurando col pluviometro la quantità di pioggia che cade, si può fino ad un certo punto formarsi un concetto dell'umidità più o meno grande del suolo di una regione. Però devesi tenere presente il fatto che solo una parte della pioggia penetra realmente nel terreno e vi rimane, mentrechè un'altra parte di essa scorrendo sotto forma di rivoletti sulla superficie del suolo, si porta ai torrenti, ai fiumi ecc., e di qui generalmente va al mare; ed una terza parte poi si evapora, anche dopo essersi infiltrata negli strati più superficiali del suolo, e nuovamente va a far parte dell'atmosfera. Il rapporto con cui si dividono fra loro queste tre parti è variabilissimo, dipendendo esso da molte circostanze quali la configurazione e l'inclinazione della superficie del suolo, la costituzione e la temperatura di esso, la temperatura e l'umidità dell'aria, l'intensità

dell'insolazione, l'esposizione ai venti, la forza e la direzione di questi, ecc.; lo stesso carattere speciale della pioggia vi ha influenza, perchè per le piogge lente e continuate molta maggior parte d'acqua può penetrare nel terreno che per i violenti acquazzoni.

Inoltre è da considerarsi che la quantità d'acqua che penetrata nel terreno va a contributo dell'umidità degli strati superficiali, è in generale diversa da quella che va a contributo dell'umidità degli strati più profondi; e ciò a seconda della permeabilità e della capacità per l'acqua dei diversi strati.

Studiando bene il contegno del terreno di una data località rispetto all'acqua, e cercando di dare in via approssimata il giusto peso od ognuno dei fattovi testè mentovati, si capisce come si possa giudicare delle oscillazioni cui va soggetta l'umidità del suolo di quella località, tenendo dietro alle osservazioni della caduta della pioggia.

3. *Mediante le osservazioni delle oscillazioni verticali della falda acquea sotterranea.* – Per alcuni terreni molto permeabili, attraverso ai quali le acque meteoriche facilmente e prontamente possono infiltrarsi fino a raggiungere il livello della falda acquea sotterranea, le variazioni dell'umidità sono in certo qual modo parallele alle oscillazioni verticali della falda; tenendo adunque dietro a queste, coi metodi che verranno più oltre indicati, si può giudicare di quelle, sempreché le piogge infiltrantisi nel suolo di quella regione siano la causa unica o almeno principale dell'alimenta-

zione della falda.

XIII Potere di condensazione del terreno per l'acqua.

Condensazione del vapor d'acqua da parte del terreno. – Il terreno ha in generale la proprietà di assorbire dall'aria umida una parte del vapor acqueo, e di condensare quest'ultimo alla sua superficie. Questa condensazione può avere luogo in due modi diversi.

Se supponiamo che il terreno abbia una temperatura alquanto più fredda dell'aria atmosferica, e che quest'aria sia carica di vapore d'acqua, allora essendo l'aria a contatto col suolo ed infiltrandosi entro ai pori di questo, naturalmente dovrà una parte dell'acqua passare dallo stato di vapore allo stato liquido e depositarsi nelle pareti dei pori del terreno. La quantità d'acqua così condensata sarà tanto maggiore quanto maggiore è la differenza di temperatura fra l'aria ed il suolo, quanto maggiore è lo stato igrometrico dell'aria, e quanto minore è l'umidità del suolo.

Se poi supponiamo che il terreno sia affatto asciutto, ed ogni sua particella si trovi spogliata dall'atmosfera di vapore d'acqua che quasi sempre la circonda, allora anche se il terreno ha la stessa temperatura dell'aria, le sue particelle si mostrano capaci di attrarre e di fissare alla loro superficie il vapore d'acqua, riducendolo allo stato

liquido. Questo secondo modo di condensazione in natura succede solo di rado, e soltanto negli strati più superficiali, e che per essere più soleggiati, possono raggiungere un alto grado di asciuttezza.

Tanto nell'uno quanto nell'altro caso di condensazione la quantità di acqua condensata dipende, oltre che dai fattori su accennati della temperatura e dell'umidità del suolo e dell'aria, anche dalla struttura meccanica e dalla composizione mineralogica del terreno; e cioè, come ogni fenomeno d'adesione molecolare, essa dipende essenzialmente dalla estensione della superficie del terreno che prende parte al fenomeno; per un terreno a grana fina, specialmente se argilloso od umoso, il potere di condensazione è notevolmente maggiore che per un terreno a grana grossa, ghiaioso o sabbioso.

Metodo per determinare il potere di condensazione. - Sebbene non si possegga alcun metodo veramente adatto per determinare il potere di condensazione del suolo per il vapore d'acqua, dipendendo il fenomeno da parecchie circostanze estrinseche al terreno, tuttavia accenneremo al seguente metodo che può servire a dare un criterio approssimato e relativo intorno al maggiore o minore potere condensante di un dato terreno.

Si prendono dieci grammi di terreno asciugato all'aria e si distendono in modo uniforme entro un piattello di zinco avente 25 cm.² di su-

perficie. Il piattello pieno di terra viene pesato; e parimenti viene pesato un altro piattello di zinco di dimensioni uguali, ma lasciato vuoto. Entrambi i piattelli, posti su adatti sostegni, si ricoprono con una campana di vetro che pesca inferiormente in un bacino pieno d'acqua; il tutto deve essere posto in una camera a temperatura pressochè costante, la quale viene indicata da un termometro appeso entro la campana stessa. Dopo 24 ore si pesa sia il piattello ripieno di terra, sia quello lasciato vuoto. Entrambi mostreranno un leggero aumento di peso dovuto al vapore d'acqua che svolgendosi dal bacino sottoposto in parte viene a depositarsi sotto forma di velo sottilissimo sulle pareti dei due piattelli metallici, ed in parte viene assorbito e condensato dalle particelle terrose; per quest'ultimo fatto l'aumento di peso notato pel piattello pieno sarà alquanto maggiore dell'aumento di peso che si nota pel piattello vuoto. Le pesate devono essere ripetute di 24 in 24 ore fino a che, restando presso a poco costanti le condizioni di temperatura, si osservi un peso approssimativamente costante pei due piattelli. Allora si fa la differenza fra l'aumento finale di peso del piattello pieno di terra e l'aumento finale di peso del piattello vuoto.

Sia ora d questa differenza. Se con P si indica il peso della porzione di terreno presa in esame, dopochè essa si sia fatta disseccare completamente in una stufa a 100°, e se si stabilisce la pro=

$$d : p = x : 100$$

cioè se si cerca quale sia il peso x di vapore d'acqua che può restare condensato (nel cosidetto stato di asciuttezza all'aria) da una porzione di terra che disseccata a 100° abbia il peso di 100 gr., si ottiene un numero (x) il quale si suole assumere come misura del potere condensante del terreno pel vapore d'acqua.

XIV. Potere d'evaporazione del terreno.

Evaporazione dal terreno. – L'acqua che aderisce alle pareti dei pori e riempie i capillari di un terreno umido, può in parte abbandonare a poco a poco il terreno e passare nell'atmosfera sotto forma di vapore. Tale perdita di acqua da parte del suolo si effettua specialmente dalla sua superficie, poichè questa si trova in contatto con una grande massa d'aria la quale va continuamente rinnovandosi.

Il quantitativo dell'acqua evaporata dal terreno, e la rapidità colla quale l'evaporazione si effettua dipendono da molteplici fattori, di cui alcuni vanno riferiti alle condizioni atmosferiche, altri vanno riferiti alle condizioni ed alle proprietà del suolo stesso.

Tra i primi devono anzitutto considerarsi: lo stato igrometrico dell'aria; la frequenza e l'intensità dei movimenti che hanno luogo in seno al-

l'atmosfera. - Difatti è chiaro che quanto più lontana dallo stato di saturazione è l'aria in contatto del suolo, e quanto più essa, man mano che prende l'umidità del terreno, è messa in moto e rinnovata per effetto della ventilazione, tanto più rapida e copiosa viene provocata l'evaporazione dal terreno.

Tra i fattori riferentisi alle condizioni proprie del suolo si devono in prima linea annoverare il contenuto di acqua nel terreno; le particolari proprietà fisiche del terreno dipendenti dalla struttura, e specialmente la capacità per l'acqua e il potere d'assorbimento capillare; la temperatura del suolo.

L'influenza delle proprietà fisiche dipendenti dalla struttura meccanica si esplica in vario modo. Come esempi di ciò si possono qui citare i seguenti fatti. - Quanto più poroso e permeabile all'aria è il terreno, tanto più facile riesce lo scambio dell'aria che penetrata nei pori si è saturata di umidità, coll'aria atmosferica non ancora saturva. - Quanto più fini sono i grani terrosi, tanto maggiore è l'estensione della superficie evaporante, con che rimane sempre più facilitata l'evaporazione. - Se lo spessore dello strato di terreno giacente al di sopra della falda acquea sotterranea non è soverchio, i terreni fini e compatti aventi grande potere assorbente capillare favoriscono l'evaporazione meglio che i ghiaiosi, perchè man mano che gli strati superiori in immediato contatto coll'atmosfera si vanno

essiccando, l'acqua della falda può dagli strati più profondi salire su mediante i capillari a sostituire l'acqua evaporata, ed evaporarsi quindi alla sua volta.

Infine, per quello che riguarda l'influenza della temperatura del suolo, è anche da notare che siccome l'acqua evapora dal terreno tanto più, quanto più alta è la temperatura di questo, così avviene che ad aumentare il quantitativo di acqua evaporata contribuiscono per via indiretta tutte quelle circostanze che servono ad indurre un maggiore riscaldamento nel terreno. Pertanto quali fattori indiretti dell'evaporazione del suolo, devonsi considerare: l'intensità e la durata del soleggiamento, e con ciò anche l'ubicazione e l'inclinazione del suolo; poi il calore specifico ed il potere assorbente del terreno pel calore, il quale potere assorbente viene pure modificato dal colore del suolo e dall'essere o no il terreno ricoperto da vegetazione.

Misura dell'evaporazione dal terreno; potere d'evaporazione. - La misura dell'evaporazione del terreno può imprendersi avendo di mira la risoluzione di due quesiti diversi.

Uno di questi quesiti sarebbe quello di ricercare quale fra diversi terreni si presti di più, per le particolari proprietà della sua struttura (restando pari ogni altra circostanza), all'evaporazione dell'acqua in esso contenuta. Siccome in questo caso non si tratta altro che di ottenere e di porre fra loro a confronto dei numeri esprimenti in mo-

do relativo ciò che si potrebbe chiamare potere o capacità d'evaporazione dei diversi terreni, così nei metodi ai quali un tale scopo si adatta, non è assolutamente richiesto che si faccia evaporare l'acqua dal terreno sotto quelle identiche circostanze, sotto le quali avviene di solito l'evaporazione in natura. - Uno di questi metodi, assai semplice, è quello di W. Wolf, che descriveremo più sotto.

L'altro scopo che uno si può prefiggere nella misura dell'evaporazione, è quello di valutare in modo assoluto la quantità d'acqua evaporata da una limitata porzione di terra posta quanto più possibilmente nelle stesse condizioni naturali che si verificano in grande, per poi potere estendere un tale dato ad una più o meno larga zona di terreno, e calcolare così il quantitativo d'acqua che in natura dal suolo passa per evaporazione nell'atmosfera. Molti sono i metodi immaginati con questo scopo, ma a dir vero nessuno di essi va del tutto esente da obbiezioni più o meno gravi; e ciò risulta sia per la seria difficoltà di imitare in piccolo ciò che la natura attua in grande, sia pel fatto che l'evaporazione del terreno è complicata, come si è visto, da una lunga serie di fattori. Tuttavia fra i tanti descriveremo il metodo del prof. Battelli, siccome il più razionale e più esatto.

Metodo di W. Wolf. - Scatolette cubiche di 6 cm. di lato, colle pareti costituite da fina rete metallica, e superiormente aperte, vengono rivestite in

ternamente con carta da filtro, poi riempite di terreno essiccato all'aria, ed infine immerse per la profondità di 2 cm. nell'acqua distillata, fintantochè il terreno si sia per assorbimento completamente imbibito di acqua. Allora si pesano le scatolette, e poi le si sospendono all'aria libera. Trascorse 12 ore, si ripesano le scatolette, tenendo conto della temperatura dell'aria; la perdita di peso corrisponde alla quantità d'acqua evaporata nell'intervallo. Le pesate si rinnovano di 12 in 12 ore, fintantochè il terreno abbia ripreso il suo primitivo stato di secchezza.

Metodo di Battelli. - Un ampio tino di legno sta sepolto fino all'orlo entro un'adatta fossa scavata nel suolo (fig. 22). Un forte reticolato R forma

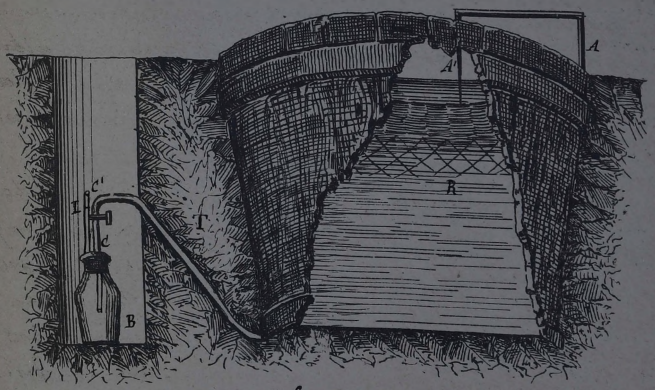


fig. 22.

to con grossi fili di ferro zincato, ai quali è cucita una robusta tela, divide orizzontalmente il tino in due scompartimenti. Si riempie lo scomparti-

mento inferiore con acqua, ed il superiore con terra fino a due centimetri dall'orlo del tino. Verso il fondo del tino parte un tubo ricurvo T, il quale attraversando il terreno che circonda il tino, viene a sbucare in un'altra fossa, alquanto distante dalla prima. Entro questa seconda fossa e al disotto del livello del reticolato R, è collocata un'ampia bottiglia B della capacità di 50 litri, chiusa da un tappo attraversato da due cannelli C e C'; il cannello C si può innestare a piacimento al tubo T, che è terminato da una chiavetta la quale permette di chiudere o di aprire la comunicazione tra il tino e la bottiglia; il cannello C', di piccolo diametro, porta verso la sua metà un segno I. Infine, all'orlo superiore del tino è fissata una grossa asta verticale di ferro A, la quale mediante un braccio orizzontale sostiene un'altra asta verticale A' terminata da una punta d'avorio che giunge fino a un centimetro circa sopra il livello del terreno del tino.

Il Battelli faceva le determinazioni nel modo seguente: Versava acqua sopra la terra del tino fino a che giungesse a toccare esattamente la punta d'avorio. Poi apriva la chiavetta del tubo T e riempiva d'acqua per due volte successive la boccia B fino al segno; così restavano tolti dal tino 100 litri d'acqua, e l'acqua che prima sormontava il livello del terreno, si abbassava fino a lasciare la terra interamente allo scoperto. Trascorso poi un certo numero di ore, per es. 12, nelle quali si la-

sciava che si effettuasse liberamente l'evaporazione dal terreno umido, si versava nel tino nuovamente dell'acqua fino a raggiungere la punta d'avorio, misurando esattamente coll'uso di bottiglie ben calibrate la quantità di acqua che era allora necessario versare. Se durante l'intervallo delle 12 ore il tino non avesse perduto acqua per effetto dell'evaporazione, è chiaro che in tal caso si sarebbe dovuto aggiungere nient'altro che i 100 litri d'acqua tolti dodici ore innanzi; ma invece, dovendosi sopperire alla perdita dell'acqua evaporata, era necessario versare una quantità di liquido maggiore di 100 litri; tale eccesso corrispondeva adunque esattamente al quantitativo dell'acqua evaporata dal terreno in 12 ore. Restava poi facile, conoscendo la superficie del tino, valutare questa quantità in millimetri d'abbassamento della superficie evaporata, precisamente come si suole fare nella misura dell'evaporazione da una semplice superficie liquida.

È però necessario osservare che neanche il metodo di Battelli corrisponde del tutto alla realtà delle condizioni naturali dell'evaporazione dal terreno, in quantochè con tale metodo si studia il terreno nello stato di completa imbibizione, mentrechè in natura l'evaporazione ha luogo dal terreno ora più ed ora meno umido, ma quasi mai completamente imbevuto di acqua.

XV. Calore specifico del terreno.

Definizioni. - In generale si chiama calore specifico di un corpo il numero delle calorie necessarie per elevare di 1° la temperatura di 1 Kg. di quel corpo; essendo la caloria, cioè l'unità adottata in pratica nella misura del calore, la quantità di calore necessaria per riscaldare un chilogrammo d'acqua da 0° a 1°.

È noto che i varii corpi hanno calore specifico diverso. L'acqua per esempio è fra tutti i corpi, ad eccezione del solo idrogeno, quello che ha calore specifico maggiore; e poichè, in virtù delle definizioni sopra date di calore specifico e di caloria, il calore specifico dell'acqua viene rappresentato da 1 (*), risulta che il calore specifico di tutti gli altri corpi, meno l'idrogeno, è rappresentato da frazioni minori dell'unità.

Calore specifico dei varii terreni; influenza dell'acqua. - Per le diverse qualità di terreno, sempre che si considerino allo stato asciutto, si è trovato che il calore specifico varia solo di poco dall'una all'altra, ed è assai inferiore a quello dell'acqua. Così l'argilla ha il calore specifico 0,217, la sabbia silicea 0,190, valori che sono circa 1/5 del ca-

---

(*) Non devesi però qui dimenticare che il calore specifico dell'acqua cresce, sebbene di pochissimo, colla temperatura; ed è solo con approssimazione che esso si può ritenere costante fra le temperature 0° e 100°.

lore specifico dell'acqua.

Ne consegue che la presenza dell'acqua in un terreno ne aumenta considerevolmente il calore specifico, e tanto più quanto più grande è il contenuto d'acqua. Ciò fa sì che un suolo umido, di fronte allo stesso suolo asciutto, abbisogna di una maggiore quantità di calore acciocchè la sua temperatura si innalzi di un dato numero di gradi; cioè pel solo fatto dell'aumento del calore specifico dovuto all'acqua, il riscaldamento del suolo sotto ai raggi solari viene ritardato, come del pari viene ritardato il suo raffreddamento per l'irradiazione notturna; le oscillazioni di temperatura in un terreno bagnato saranno dunque minori che in uno asciutto.

Difficilmente può occorrere che nell'interesse di studi igienici, si abbia da imprendere la misura del calore specifico del terreno; in ogni caso, essa si farebbe seguendo le stesse norme che vengono descritte nei trattati di fisica generale a proposito della determinazione del calore specifico dei corpi solidi.

XVI. Potere assorbente ed emissivo del terreno pel calore.

Definizioni: - In generale un corpo qualsiasi esposto ad una sorgente di calore, p. es. ai raggi solari, si riscalda, il che vuol dire che esso trattiene in sè o assorbe una parte dell'energia termica che sotto forma di raggi arriva su di esso. Il rapporto fra

la quantità di calore che il corpo assorbe e quella che riceve, chiamasi potere assorbente pel calore.

Questo potere varia da corpo a corpo; pel nerofumo esso ha il massimo valore. È per questo che si adotta il nerofumo come termine di confronto per i poteri assorbenti di tutti gli altri corpi, e viene nella pratica determinato il cosidetto potere assorbente relativo, cioè il rapporto fra la quantità di calore che un corpo assorbe, e quella che si mostra capace di assorbire il nero fumo, posto nelle identiche condizioni di quel corpo.

È poi anche noto che se un corpo riscaldato viene posto in un ambiente a temperatura più bassa, esso si raffredda, non solo perchè esso comunica una parte del suo calore all'aria circostante, ma anche perchè esso in realtà irradia o emette tutto attorno a sè una parte di energia termica sotto forma di raggi. La quantità di energia termica raggiante che il corpo cede nell'unità di tempo normalmente all'unità di superficie, quando il suo eccesso di temperatura sia 1°, viene chiamato potere emissivo.

Il massimo potere emissivo è pure posseduto dal nerofumo. Pertanto nella pratica i poteri emissivi dei varii corpi si riferiscono al nerofumo, cioè si determina il potere emissivo relativo, che sarebbe il rapporto fra la quantità di calore emesso da un corpo, e la quantità di calore che, date le stesse condizioni, emette il nerofumo.

Infine è noto che per uno stesso corpo, quando si

considerino raggi termici della stessa specie (cioè della stessa rifrangibilità), il potere assorbente ed il potere emissivo sono rappresentati dallo stesso numero. – Pertanto in quel che segue noi potremo considerare simultaneamente i due poteri; ciò che si dirà per l'uno, varrà anche per l'altro.

Potere assorbente ed emissivo dei terreni. – Richiamate così queste definizioni e nozioni, che formano parte dell'insegnamento elementare della fisica, possiamo ora parlare del potere assorbente ed emissivo del terreno pel calore.

Risulta da alcune recenti indagini del prof. Racchetti che il potere emissivo del terreno siliceo, della sabbia del mare e di alcuni terreni argillosi-calcarei-silicei si può ritenere pari al potere emissivo del nerofumo; quello del terreno calcareo e dell'argilloso è solo di pochissimo inferiore a quello del nerofumo; quello della pietra calcarea pulita e del tufo è invece alquanto inferiore e raggiunge solo circa $\frac{70}{100}$ del potere emissivo del nerofumo. – In generale si può stabilire che il potere emissivo ed assorbente dei terreni agrarii è assai grande, poichè uguaglia o differisce di poco da quello del nerofumo.

Una grandissima influenza sul potere emissivo e assorbente del terreno esercita il colore del terreno stesso. La colorazione oscura accresce il detto potere; cosicchè a parità di calore specifico e delle altre condizioni, i terreni scuri o nerastri si riscaldano di più e si raffreddano parimenti di più e più

presto che i terreni chiari. - La presenza dell'acqua agisce spesso nel senso di rendere più oscuro il colore di un terreno, e con ciò ne modifica il potere emissivo ed assorbente.

Esercitano pure influenza sul potere in questione lo stato più o meno addensato degli strati più superficiali del suolo, e la finezza del materiale terroso. Si è infatti sperimentalmente trovato che quanto più la terra è a grani fini, tanto meglio essa si mostra capace di assorbire e di irradiare calore; e che col maggiore addensamento della superficie del suolo, diminuisce la quantità di calore emessa od assorbita.

Misura del potere emissivo ed assorbente del terreno. - Il potere emissivo ed assorbente del terreno si può determinare allo stesso modo che per gli altri corpi, facendo uso della pila termoelettrica e del noto apparecchio del Melloni. Fu in tal modo che il prof. Racchetti eseguì le sue esperienze sopra riportate. Siccome però nella pratica il più delle volte può a noi bastare un criterio approssimato sul potere assorbente relativo dei diversi terreni, così anziché ricorrere al metodo delicato e preciso del Melloni, possiamo accontentarci di sperimentare nel modo seguente.

Si prende uno di quei larghi e bassi recipienti cilindrici di vetro detti cristallizzatori, e lo si riempie fino all'orlo colla terra da sperimentare, asciugata all'aria. Per proteggere il vaso dai raggi termici che vi possono giungere lateralmente, e dalla

perdita od acquisto di calore per conduzione coll'esterno, si riveste il vaso esternamente con grosso cartone di asbesto, ed inoltre lo si mette dentro una cassetta di legno, il cui coperchio porti un'apertura corrispondente alla sezione del vaso. Ciò fatto, si espone il terreno del vaso ai raggi diretti del sole, e lo si lascia così per 6 ore di seguito. Allora su di un termometro a massimo che sia stato seppellito fin da principio entro il terreno ad 1 cm. di profondità, si legge fino a quale temperatura si è riscaldato il terreno per effetto del calore solare assorbito durante le sei ore. Questa temperatura servirà a dare un criterio intorno al maggiore o minore potere assorbente, e quindi anche intorno al potere emissivo.

Un altro modo di sperimentare sarebbe pure quello di scegliere parecchi termometri possibilmente identici, egualmente sensibili e pronti. Il bulbo di ciascun termometro viene intinto in una soluzione di gomma arabica; e poi si cosperge la superficie così gommata dei bulbi dei varii termometri con polvere fina di quei diversi terreni che si tratta di porre fra loro a confronto a riguardo del loro potere assorbente pel calore. Si deve fare in modo che rimanga aderente ai bulbi uno strato bene addensato di terreno avente 2-3 millimetri di spessore, presso a poco uniforme per tutti i termometri. Allora, dopo aver lasciato che la soluzione gommosa si sia bene seccata, si espongono i varii termometri ai raggi solari tut-

ti nelle stesse condizioni. Il termometro che segnerà un riscaldamento più rapido, sarà quello il cui bulbo è rivestito da terreno avente potere assorbente maggiore.

XVII. Conduttività termica del terreno.

Il terreno si mostra in generale cattivo conduttore del calore, in quantochè il calore può bensì propagarsi in una massa di terreno passando successivamente da una molecola all'altra, ma ciò avviene assai meno facilmente e più lentamente di quello che avvenga in tanti altri corpi, quali i metalli, che sono considerati come buoni conduttori.

La conduttività termica varia alquanto nei diversi terreni colla composizione petrografica e chimica e colla costituzione meccanica. - Così il contenuto di sostanze organiche nel terreno rende questo anche meno conduttore. L'aria che ha una conduttività termica inferiore a quella dei materiali componenti il terreno, fa sì che i terreni assai porosi conducano meno bene il calore che i terreni compatti. Ma la massima influenza è esercitata dall'acqua, la quale scacciando l'aria dall'interno dei pori e prendendone il posto, aumenta la conduttività del terreno; e da ciò segue che il calore nei terreni umidi meglio si diffonde verso la profondità.

Metodo per confrontare fra di loro le conduttività termiche di terreni diversi. – Un pallone di vetro sottile, di forma quanto più possibilmente sferica ed avente la capacità di un litro, si riempie con terra fina essiccata all'aria, colla solita avvertenza di dare, durante l'operazione del riempimento, continuate scosse al pallone su di un sottostante piano soffice. In pari tempo si introduce nel pallone un termometro in modo che il suo bulbo resti fisso nel centro del pallone stesso. Questo si pone in una stufa provvista di termoregolatore e riscaldata a 100°; e si osserva il tempo necessario perchè il terreno acquisti nel centro la temperatura di 100°. – Questo tempo sarà tanto più breve, quanto più conduttore è il terreno.

Si può anche procedere nel modo inverso, cioè riscaldare il pallone pieno di terra dentro la stufa fino a che il termometro posto nel centro segni 100°; e poi lasciare raffreddare il pallone, notando quanto tempo ci voglia perchè il terreno ritorni nel centro alla primitiva sua temperatura.

Capitolo Secondo.

La temperatura del suolo.

1. Cause del riscaldamento del suolo.

Tre sono le sorgenti di calore per gli strati più esterni della crosta terrestre:

1. Il calore solare. – Il calore irradiato dal Sole viene assorbito dalla superficie del suolo, la quale si riscalda; dalla superficie poi, questo riscaldamento si trasmette per conduzione agli strati inferiori fino ad una certa profondità.

2. Il calore sviluppato nei processi fisici e chimici di decomposizione, ossidazione ecc. che hanno luogo entro alla massa del terreno.

3. Il calore interno della terra, il quale emanato dalle parti più centrali del globo terrestre, si propaga per conduzione fino alle periferiche.

Di queste tre sorgenti, la più importante è certo la prima. Difatti, per ciò che concerne il riscaldamento degli strati più superficiali del suolo, che sono quelli che interessano l'igiene, le quantità di calore dovute alle due ultime sorgenti sono minime, e spesso sfuggono anzi all'osservazione; tanto che noi possiamo in generale trascurarle di fronte al quantitativo di calore che proviene dal Sole.

Il calore che il Sole somministra alla Terra, è invero assai considerevole. Mediante diligenti misure actinometriche il Crova ha trovato che

un centimetro quadrato della superficie terrestre su cui cadano normalmente i raggi solari, riceve in un minuto primo una quantità di calore eguale a 1,9 – 2,3 calorie; e da questi numeri esprimenti l'intensità assoluta della radiazione solare, non si scostano di molto i risultati ottenuti anche da altri osservatori. In base a questo dato si è calcolato che la quantità totale di calore che dal Sole si riversa annualmente su tutta la Terra, ammonta a più di 1½ quatrilioni di calorie; le quali sarebbero sufficienti per fondere ogni anno uno strato di ghiaccio dello spessore di 28m. 96 che ricoprisse l'intera superficie terrestre (Wüllner).

II. Fattori che influiscono sul riscaldamento del suolo.

– Sulla quantità di calore che un determinato punto della superficie terrestre riceve dal Sole in un determinato tempo, e sulla temperatura più o meno elevata che per effetto di quella quantità di calore il punto considerato può raggiungere e conservare, influiscono moltissime circostanze e parecchie fra le proprietà fisiche del terreno; tutti fattori che ora, per brevità, non faremo altro che enumerare rapidamente.

Tra i fattori estrinseci al suolo dobbiamo annoverare:

1. L'angolo di inclinazione sotto cui i raggi solari colpiscono la superficie del terreno. – Quest'angolo, oltrechè dall'inclinazione o pendio del suolo rispetto all'orizzonte e dalla orientazione o

direzione della superficie inclinata rispetto ai punti cardinali, è determinato dall'altezza del sole, la quale varia coll'ora del giorno e colla latitudine del luogo, e per uno stesso luogo e per una stessa ora, varia colla stagione.

2. La durata del soleggiamento cioè dell'esposizione ai raggi solari, dipendente dalla lunghezza del giorno (variabile questa pure colla latitudine e colla stagione) e dallo stato di serenità o d'annuvolamento del cielo, cioè dal numero delle ore in cui il sole non è coperto da nubi.

3. L'assorbimento del calore solare da parte dell'atmosfera. - Sebbene l'aria sia pressochè diatermica cioè trasparente ai raggi di calore, si calcola che la parte di calore assorbita dall'atmosfera nel passaggio dei raggi solari attraverso ad essa prima di arrivare al suolo, sia eguale a circa 0,4 del totale (Pouillet). Questa proprietà assorbente dell'atmosfera è dovuta specialmente all'anidride carbonica contenuta nell'aria, al pulviscolo dei bassi strati, e più di tutto alla presenza delle nubi e delle nebbie cioè delle goccioline d'acqua sospese nell'atmosfera. È chiaro che quest'assorbimento del calore solare diminuisce col crescere dell'altitudine del luogo e dell'altezza del sole sull'orizzonte.

4. L'irradiazione notturna per la quale il terreno durante la notte perde una parte del calore acquistato nella giornata. Se il cielo è offuscato da nubi o da nebbie, il raffreddamento del suo

lo risulta minore.

5. L'evaporazione dell'acqua dal suolo; poichè come è noto, l'acqua evaporandosi sottrae calore. Nè qui devesi dimenticare che la quantità d'acqua evaporantesi è in certo modo collegata collo stato igrometrico dell'aria.

6. La ventilazione (frequenza, intensità e direzione dei venti). - I venti rinnovando l'aria in contatto col suolo e facilitando l'evaporazione, agiscono in generale nel senso di raffreddare il terreno. In ciò ci ha anche influenza l'esposizione che la porzione di suolo che si considera, ha rispetto ai venti.

7. Lo stato della superficie del terreno in riguardo alla vegetazione.

Tra i fattori intrinseci, cioè tra le proprietà fisiche del terreno che influiscono sul riscaldamento del suolo, abbiamo:

1. Il calore specifico, il quale come si è detto, aumenta col contenuto d'acqua nel terreno.

2. Il potere assorbente ed emissivo, il quale abbiamo visto andare collegato colla finezza di grana e col colore; e sappiamo ancora che quest'ultimo può cambiare per effetto della presenza dell'acqua nel terreno.

3. La conduttività termica del terreno, che entra però come fattore soltanto quando si tratti del riscaldamento indotto negli strati giacenti al disotto della superficie del suolo. Anche la conduttività termica viene modificata dall'acqua,

e dallo stato di maggiore o minore porosità del terreno(*).

III. Strumenti per la misura della temperatura del suolo.

Per determinare la temperatura del suolo si immaginarono svariate modificazioni del comune termometro a mercurio o ad alcool, per renderlo adatto ad essere osservato sebbene collocato entro il terreno a profondità diverse; a queste forme speciali di termometro si dà pertanto genericamente il nome di geotermometri. – Noi ne descriveremo alcuni fra i principali che sono ora più in uso.

Geotermometri di Alvergniat. – La casa Alvergniat di Parigi costruisce geotermometri i quali non sono che termometri col cannello ripiegato quasi ad angolo retto (fig. 23) e contenenti una quantità di mercurio regolata per modo che lo zero della scala termometrica venga a trovarsi sulla porzione (B) compresa fra la ripiegatura e l'estremità del cannello opposta al bulbo. Praticato nel terreno col mezzo di un'asticella

---

(*) Da quanto precede si vede che l'influenza del contenuto d'acqua sulla temperatura del suolo si estrinseca in quadruplice modo: infatti col crescere del quantitativo d'acqua aumenta l'evaporazione e con ciò il raffreddamento che ne è conseguenza; aumenta il calore specifico del terreno; si oscurisce il colore del terreno crescendo così il potere emissivo ed assorbente; infine aumenta la conduttività termica.

di legno o di ferro un foro verticale di piccolo diametro, vi si introduce per tutta la sua lunghezza l'altro ramo (A) compreso fra il bulbo ed il gomito, calcando poscia bene la terra tutt'intorno acciocchè non rimanga spazio libero fra la parete del foro e del cannello. Collocato per tal modo il termometro, il ramo superiore (B) risulta adagiato sul suolo in posizione pressochè orizzontale; e siccome la scala sta tracciata tutta quanta su questo ramo, così si può fare comodamente la lettura della temperatura propria dello strato di terra alla profondità cui trovasi il bulbo, senza che sia necessario spostare il termometro. È bene che i rami orizzontali di siffatti termometri siano protetti con qualche stretta tistarella di legno, ad essi sovrapposta, dai raggi diretti solari e dalle intemperie. La serie dei geotermometri di Alvergniat consta di tre, aventi i rami A lunghi rispettivamente 20-40-60 centimetri; coi medesimi adunque non si può avere altro che le temperature degli strati fino alla profondità massima di 60 cm., abbracciandi cioè uno spessore di terreno che oltrepassa solo di poco il cosidetto suolo agrario. Per profondità maggiori servono meglio i

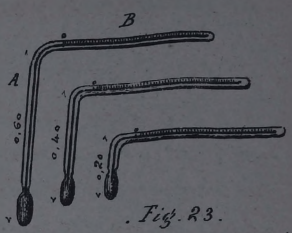


Fig. 23.

Geotermometri di Diamont. - Un tubo a sezione quadrata, formato con sottili tavole di legno, viene sepolto verticalmente entro terra (fig. 24). Nel vuoto del tubo si dispongono l'una sull'altra parecchie stanghe di le-

gno di eguale lunghezza aventi forma parallelepipeda a base quadrata in modo da entrare nel tubo quasi a tenuta d'aria. Ognuna di queste stanghe è munita superiormente di un anello per poterla facilmente sollevare servendosi all'uopo di un'asta di ferro uncinata; ed inoltre ognuna porta lateralmente nella porzione inferiore un incavo (a,b,c,d,e), entro il quale sta adattato un termometro ad alcool col bulbo molto grosso. Proprio di fronte al bulbo di ciascun termometro si trova praticato nella corrispondente parete del tubo di legno un foro, ricoperto verso l'esterno da un dischetto di lamina sottile di rame. Quest'ultima disposizione permette di mantenere il termometro all'asciutto, nello stesso tempo che questo può mettersi facilmente in equilibrio di temperatura collo strato di terreno corrispondente alla profondità a cui trovasi il suo bulbo. I termometri, essendo ad alcool ed a bulbo grosso, sono pochissimo pronti (*); cosicchè ogni qualvolta si voglia osservare la temperatura, si ha il tempo di estrarli l'uno dopo l'altro dal terreno e di leggerli

fig. 24.

(*) Pronto dicesi un termometro quando indica speditamente la temperatura dell'ambiente in cui è collocato.

senza che nel breve intervallo a ciò richiesto essi denotino una variazione per effetto del cambiamento della temperatura dall'interno del suolo all'aria esterna.

Si capisce come dando al tubo di legno una conveniente lunghezza ed aumentando il numero dei parallelepipedi portanti i termometri, si possa così avere la temperatura per es. di mezzo in mezzo metro fino a notevole profondità.

Per facilitare la rapida lettura dei termometri serve utilmente la disposizione accennata nella fig. 25. I parallelepipedi di legno sono collegati fra loro, e il primo di essi è legato ad una fune che si avvolge su di una puleggia fissata alla sommità di un asta alta almeno quanto l'insieme delle stanghe. Tirando la fune pel manubrio H, si solleva il primo termometro, a cui tengono dietro tutti gli altri. Il contrappeso G scorrevole lungo il palo serve a mantenere fermi i termometri in qualsivoglia posizione.

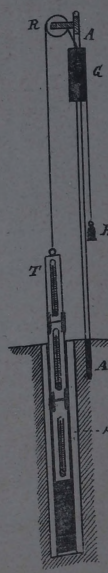


fig. 25.

Geotermometri di Pfeiffer. – Si scavano nel terreno, col mezzo di un'apposita trivella, parecchie buche di conveniente profondità e coll'apertura di circa 5 cm. In queste buche si conficcano verticalmente dei tubi di zinco di varia lunghezza, aventi il diametro comune = 5 cm.) ed inferiormente chiusi. È bene che i tubi risultino disposti in serie l'uno accosto all'altro, per ordine di lunghezza crescente o de-

crescente. Dentro ad ognuno di essi si cala un termometro in modo che il bulbo venga a trovarsi all'estremità inferiore del tubo di zinco; il termometro è attaccato saldamente ad un bastone di legno che serve ad estrarlo dal tubo ogniqualvolta se ne voglia far la lettura. Per impedire nell'interno del tubo la circolazione dell'aria, il bastone portante il termometro è rivestito ad una certa distanza con un anello di gomma elastica, e superiormente termina in un'espansione a foggia di turacciolo conico, per modo che ne risulta una buona chiusura del tubo. I termometri sono resi poco pronti rivestendone il bulbo con stoppa impregnata di sevo; ed acciocchè prendano bene la temperatura del terreno, essi stanno immersi in uno strato di glicevina alto circa 15 cm. sul fondo del tubo. - Ancora meno pronti si rendono i termometri, se si intonaca il bulbo con uno spesso strato di paraffina; questi ultimi, anche tre minuti dopo averli estratti dal suolo, conservano quasi invariata la temperatura che hanno presa stando al fondo dei rispettivi tubi.

Geotermometri a trivella. - Più comodi per la lettura sono i geotermometri a trivella, i quali hanno inoltre il vantaggio di potersi con somma facilità impiantare e strapiantare successivamente da un punto all'altro, dovunque occorra conoscere la temperatura del terreno. Uno di questi termometri è rappresentato dalla fig. 26. Un lungo tubo di rame termina inferiormente con una punta massiccia di ferro foggiata a trivella, e contiene

nel suo interno un termometro il cui serbatoio tocca il fondo del tubo cioè è situato immedia= tamente al di sopra della punta della trivella, mentrechè il cannello assai lun= go e sottile corre tutto lungo l'interno del tubo e viene a sporgere fuori dall'estremi tà superiore ancora per un tratto di pa= recchi decimetri. Qui il cannello è protet= to da un astuccio cilindrico d'ottone av= vitato sul tubo; una fessura o finestra lon= gitudinale praticata nell'astuccio e rico= perta da un vetro lascia scorgere la gra= duazione del termometro, il cui zero tro vasi un po' più in su della base dell'a= stuccio. Pertanto, pur essendo il tubo di rame sepolto per tutta la sua lunghezza entro terra, si può sempre leggere la tem= peratura sulla scala che sta dentro l'astuccio, senza che per questo si abbia da smuovere il termome= tro. Per cacciare la trivella entro il suolo o per estrar= la la si gira facendo uso del doppio manubrio che è rappresentato nella figura; questo manubrio non è fisso al tubo, ma è mobile e si può adattare succes= sivamente ai varii termometri costituenti la serie, le lunghezze dei quali sono 0,5 – 1 – 1,5 – 2 – 3 me= tri. - Se i termometri hanno da stare fissi in uno stesso luogo per osservazioni continuate, è conveni= ente riparare le loro sommità che sporgono dal ter= reno, con apposite guaine di tela impermeabile all'a= cqua, da togliersi nel momento dell'osservazione.

fig. 26.

Misura della temperatura della superficie del suolo propriamente detta. - Talora interessa anche di conoscere la temperatura dello strato di terreno addirittura più superficiale e abbracciante appena qualche millimetro di spessore (strato che si potrebbe chiamare *di profondità zero*.) A questo scopo basta adoperare un termometro ordinario adagiandolo orizzontalmente sul suolo, ricoprendone il bulbo con uno straterello sottile di terra, e lasciando il cannello scoperto in modo che i gradi possano essere letti direttamente.

IV. Osservazioni sistematiche sulla temperatura del suolo.

Negli osservatorii meteorologici provvisti di geotermometri si usa fare la lettura di questi strumenti più volte al giorno, e generalmente nelle stesse ore in cui si è convenuto di fare le osservazioni della temperatura atmosferica. - Così in Italia le letture dei geotermometri di Alvergniat si fanno alle $9\frac{1}{2}$ a. - $3\frac{1}{2}$ p. - $9\frac{1}{2}$ p.

A Pawlowsk in Russia si osservano tre volte al giorno, cioè alle 7.h 15m a. - 1.h 15m p. - 9.h 15m p., i geotermometri alle profondità 0,00 - 0,01 - 0,02 - 0,05 - 0.10 - 0,20 - 0,40 m.; ed una sola volta, cioè alle 1.h 15m p., i geotermometri alle profondità 0.80 - 1.60. - 3.20 m.

Qui però devesi notare che se per i termometri posti alle profondità maggiori di 1 metro, nelle quali non si fanno più sentire le variazioni diurne di tem-

peratura, una sola osservazione giornaliera può bastare per stabilire l'andamento annuale della temperatura e per ricavare la media temperatura annua di quegli strati, per gli strati più superficiali invece (come sono quelli da 0,00 a 0,40 m.) tre osservazioni al giorno sono ancora troppo scarse per potere tracciare con sicurezza l'intero andamento diurno e ottenere dei valori attendibili per le medie temperature diurne ed annuali. Per potere giungere a ciò, sarebbe necessario un maggior numero di osservazioni giornaliere, estese anche nelle ore di notte; oppure si dovrebbe cercare di combinare opportunamente le osservazioni fatte sugli ordinarii geotermometri con quelle fatte su adatti termometri a massimo ed a minimo, impiantati pur essi nel suolo alle varie profondità, seguendo così lo stesso metodo in uso per calcolare la media diurna della temperatura dell'aria atmosferica; oppure infine si potrebbe con vantaggio valersi di appositi strumenti registratori, che non sarebbe certo difficile costruire applicando per es. il noto e semplice sistema Richard.

E sarebbe invero desiderabile che con tale criterio si intraprendessero osservazioni sistematiche e continuate sulla temperatura dei diversi strati del suolo, specialmente di quelli che per essere più superficiali, ci interessano maggiormente in riguardo al periodo diurno; perchè fino al dì d'oggi possediamo ancora pochissime serie di osservazioni geotermometriche instituite in guisa da permetterci conclusioni sicure ed esatte sugli andamenti diurni ed an-

nati di temperatura. Forse l'unica serie che a ciò bene si presti, è quella eseguita nel 1874-75 a Nukuss (Siberia Occidentale) da Dohrandt, il quale giorno e notte, di due in due ore, faceva la lettura dei geotermometri. Questa serie però disgraziatamente non abbraccia che il periodo di un solo anno, e inoltre essa si riferisce ad un clima notevolmente diverso dal nostro.

V. Andamento della temperatura nella superficie del suolo e negli strati inferiori.

Senza dilungarci in un esame minuzioso, riassumeremo qui soltanto per rapidi cenni i principali risultati che si deducono dall'insieme delle osservazioni sinora fatte sulla temperatura della superficie del suolo e degli strati inferiori (*).

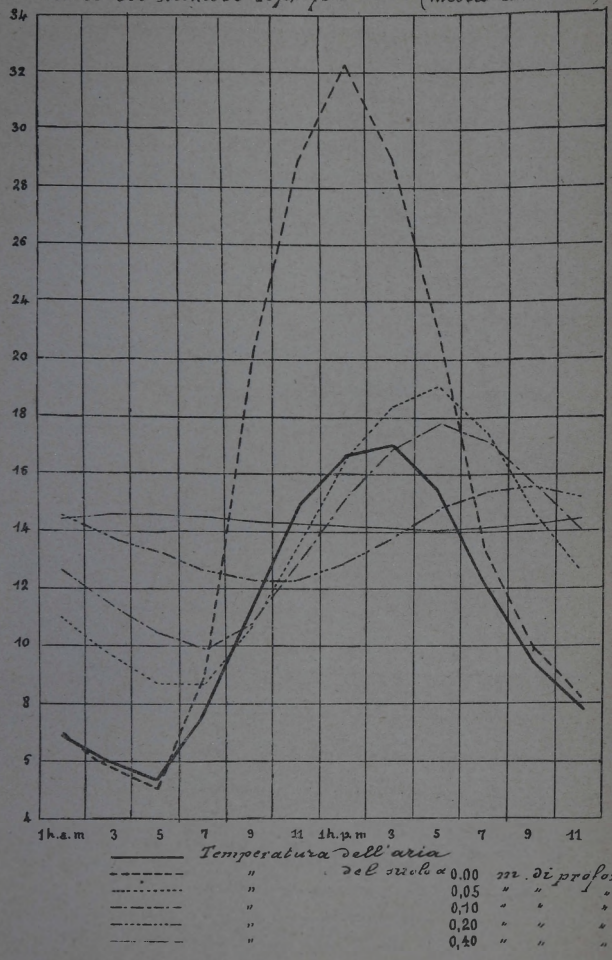
1. Due circostanze concorrono a fare sì che la superficie del suolo propriamente detta (cioè lo strato di profondità 0) si riscaldi durante la giornata sotto l'azione dei raggi solari assai più e più presto che gli strati dell'aria sovrastanti al suolo. Una di queste circostanze è che l'aria è pressochè diatermana, mentre il terreno ha un elevato potere assorbente pel

(*) A rendere più chiara l'intelligenza di quanto vien detto più sotto, possono servire utilmente le due tavole grafiche rappresentanti l'una il periodo diurno e l'altra l'annuale della temperatura a Nukuss in istrati di diversa profondità.

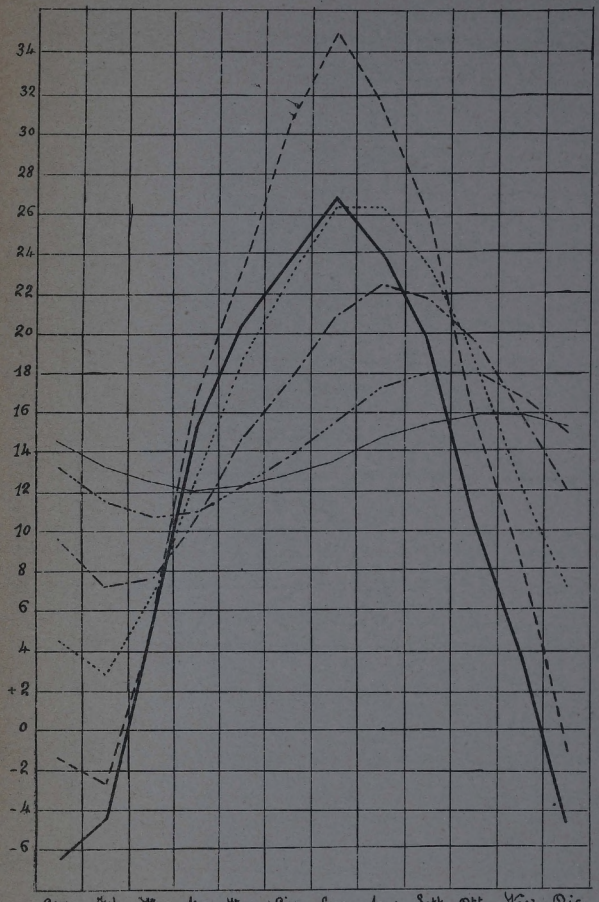
calore; e giunge qui opportuno appunto il ricordare che è essenzialmente coll'intermediario del suolo (il quale diffonde il calore ricevuto dal Sole e lo trasmette per conduzione) che gli strati atmosferici vicini al suolo riescono a riscaldarsi. L'altra circostanza è che di mano in mano che l'aria in prossimità della superficie terrestre si riscalda, essa si dilata, diventa specificamente più leggera, e perciò si solleva agli strati superiori dell'atmosfera, nel mentre che altra aria non ancora riscaldata viene in basso a sostituirla per ricevere alla sua volta calore dal suolo. — Da tutto ciò segue che le variazioni del periodo diurno di temperatura sono assai più marcate ed ampie nella superficie del suolo che nell'aria; e che non solo la media temperatura diurna è notevolmente più elevata nella prima che nella seconda, ma che anche in nessuna ora del giorno la temperatura della superficie del suolo discende al di sotto di quella dell'aria. Il minimo diurno della temperatura della superficie del suolo si ha al levare del Sole, e coincide perciò coll'ora del minimo della temperatura atmosferica; alzato il Sole la temperatura della superficie del suolo aumenta assai più rapidamente che quella dell'aria, e raggiunge il suo massimo circa un'ora prima del massimo dell'atmosfera.

Relazioni analoghe si hanno fra le oscillazioni periodiche annuali della temperatura dell'aria e quella della superficie del suolo; la media annua di quest'ultima è molto più elevata che la media

Andamento giornaliero della temperatura dell'aria e del suolo in Nukuss 1874-75 - (media annuale)



Andamento annuale della temperatura dell'aria e del suolo in Nukuss. 1874-75.



——— Temperatura dell'aria

– – – – – – Temperatura del suolo alla profondità di 0,00 m

..... " " " " " 0.80 "

–·–·–·– " " " " " 1.60 "

–··–··–·· " " " " " 2.80 "

———— " " " " " 4.00 "

anma della temperatura atmosferica.

2. Siccome il terreno è cattivo conduttore del calore, così ogni strato del suolo, rispetto a quelli che gli stanno sotto, funziona da copertura coibente, e cioè esso ritarda ed impedisce in parte l'arrivo del calore solare agli strati sottoposti, ed in pari modo ritarda ed impedisce in parte il raffreddamento di questi ultimi. - Con ciò si capisce come man mano che si considerano strati di maggiore profondità, le oscillazioni diurne diminuiscano di ampiezza, e progressivamente ritardino i tempi in cui vengono raggiunti i valori massimo e minimo diurni di temperatura. Ad un metro circa di profondità più non si fanno risentire le variazioni diurne; questo strato di profondità 1 metro ha la media annuale superiore di circa 1° alla media anma atmosferica.

Una cosa analoga succede per il periodo annuo, cioè man mano che si discende in profondità, si accentuano meno le sinuosità delle curve che rappresentano l'andamento annuale di temperatura dei diversi strati, e i loro massimi e minimi si spostano rispettivamente a quelli degli strati superiori, fino a che giunti ad una certa profondità, la curva diventa sensibilmente una retta, vale a dire si incontra uno strato in cui la temperatura è costante in tutto l'anno e presso a poco eguale alla temperatura media annuale atmosferica del luogo. Nelle nostre latitudini ed in pianura, questo strato di temperatura invariabile, detto anche

strato neutrale, è a 20-22 metri di profondità.

3. In occasione di scavi di miniere e di tunnel, di trivellamento di pozzi ecc. furono fatte anche numerose ricerche sulla temperatura degli strati di terreno che stanno sotto allo strato neutrale, e si è riconosciuto che al di là di esso la temperatura cresce di continuo. Questo riscaldamento, che si nota negli strati terrestri più profondi, non è più dovuto al calore solare, ma al calore interno della Terra. La Commissione nominata dall'Associazione Brittannica espressamente per questi studî ha stabilito che a partire dallo strato neutrale, l'inalzamento di temperatura è in media di 1° per ogni 35 metri di profondità; questa però non devesi riguardare come legge fissa, perchè si sono trovati dei luoghi in cui l'accrescimento di 1° nella temperatura si ha per 71 m. di profondità, ed altri luoghi invece in cui basta a ciò la profondità assai piccola di 19 m. E siccome poi nessuna delle osservazioni finora fatte si estende a profondità superiori ai 2000 metri, il che è una frazione minima del raggio terrestre, così rimane tuttora impregiudicata la questione della temperatura degli strati più centrali.

Capitolo Terzo.

L'acqua sotterranea.

I. Esistenza ed origine dell'acqua sotterranea.

Acqua sotterranea o acqua di sottosuolo, si chiama quella massa d'acqua più o meno estesa lateralmente ad una certa profondità della superficie del suolo si trova raccolta nell'interno di uno strato poroso su di un fondo impermeabile.

Il modo con cui essa trae origine è il seguente:

Sappiamo già che il quantitativo d'acqua che sotto forma di pioggia o di altra precipitazione meteorica cade sulla superficie terrestre, si divide in tre parti: una parte si evapora e si rende così nuovamente all'atmosfera; un'altra parte scorre in rigagnoli sul suolo e si porta ai rivi, ai fiumi, ai laghi ecc.; una terza parte infine s'insinua nel terreno se questo è permeabile. Anche la stessa acqua già costituita in masse correnti sulla superficie terrestre può, nello scorrere su letto permeabile, infiltrarsi parzialmente o magari anche totalmente in questo. L'acqua, una volta penetrata entro terra, seguita ad infiltrarsi, più o meno lentamente a seconda della permeabilità degli strati che attraversa, fino a che incontra uno strato impermeabile che le impedisce l'ulteriore discesa. Questo strato impermeabile può essere costituito talvolta da roccia aporosa e talvolta da materiale

rico di argilla; la quale ultima pure possedendo pori, ha la proprietà che s'impasta qualora venga bagnata, cosicchè i suoi pori s'otturano e divengono incapaci di lasciare passare l'acqua. Allora, se lo strato impermeabile non è soverchiamente inclinato, e se si verifica la condizione che l'acqua discesa fino a quella profondità sia in quantità maggiore di quella che occorre per dare al terreno poroso il massimo grado di umidità che gli compete a seconda della sua capacità, ne consegue che l'acqua dovrà raccogliersi ed estendersi sul fondo impermeabile in modo da costituire una falda liquida la quale per uno spessore più o meno grande invade gli strati superiori permeabili occupando completamente ogni poro ed ogni vano anche grande che trovisi in essi.

II. Profondità, altezza e spessore della falda acquea sotterranea.

Definizioni. - Noi dobbiamo immaginare la falda acquea sotterranea come uno strato liquido limitato da due superficie: una inferiore che coincide colla superficie dello strato impermeabile su cui giace la falda, e ne segue tutte le accidentalità; l'altra superiore la quale se per parte del terreno poroso non venisse opposto alcun ostacolo ai moti che tenderebbe a far l'acqua per mettersi in equilibrio sotto l'azione della gravità, dovrebbe risultare in ogni suo punto orizzontale. Ma ciò non succede esatta-

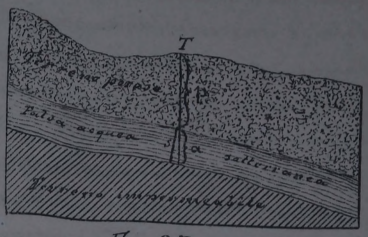
mente, in causa del notevole attrito che trova l'acqua nel muoversi attraverso al terreno permeabile; e quindi la superficie limite superiore della falda si modella alquanto anch'essa nella superficie dello strato impermeabile, seguendone ora più ed ora meno il profilo.

La distanza verticale che intercede fra un punto della superficie libera del suolo e la superficie superiore della falda, prende il nome di *profondità della falda* in quel punto; e la distanza, misurata pure in senso verticale, che ad essa bisogna ancora aggiungere per arrivare fino alla superficie inferiore cioè al fondo impermeabile, chiamasi *altezza della falda*.

L'altezza della falda così definita corrisponde allo spessore reale dell'acqua sotterranea solo nel caso in cui le due superfice limiti della falda siano pressochè orizzontali. Se invece queste due superfice si scostano assai dalla orizzontalità, per *spessore della falda* devesi intendere la distanza che intercede fra il livello dell'acqua e la superficie impermeabile, distanza che va misurata sulla retta normale condotta alle due superfici nel punto considerato. - Talvolta allo spessore si dà anche il nome di *potenza della falda*.

Così nella fig. 27 la profondità della falda corrispondente al punto T della superficie terrestre è data dal segmento rettilineo p, l'altezza del segmento a, e lo spessove del segmento s; ed è chiaro che a risulta maggiore di s.

La profondità dei varii punti di una medesima falda non è in generale la stessa, dipendendo essa essenzialmente dalla pendenza e dalla configurazione dello strato impermeabile, il quale può essere in vario modo irregolare; ma anche nel caso che il letto impermeabile e la superficie superiore della falda fossero piani ed orizzontali, la profondità, venendo contata dalla superficie libera del suolo, non potrebbe essere la stessa se non a patto che la superficie del suolo fosse essa pure piana ed orizzontale. È chiaro invece che essendo il suolo accidentato, la falda si dovrà trovare più profonda in corrispondenza dei rilievi della regione sovrastante e meno in corrispondenza delle depressioni.



Anche l'altezza della falda varia da punto a punto; e cioè al disopra delle depressioni dello strato impermeabile la falda dev'essere più alta, perchè l'acqua meglio si raccoglie entro siffatte depressioni a forma di bacini; mentre la falda deve essere più bassa, e talvolta può magari mancare del tutto, al disopra dei rilievi dello strato impermeabile.

Misura della profondità e dell'altezza della falda acquea. — Spesso interessa, anche dal lato igienico, acquistare un'idea sufficientemente esatta intorno al regime idrografico sotterraneo

di una regione più o meno estesa; e per questo occorre determinare la profondità della falda in molti punti distribuiti presso a poco uniformemente su quella regione.

Ora la falda acquea non può essere raggiunta se non col mezzo di scavi praticati nel terreno; allo scopo si impiegano con vantaggio apposite trivelle, che qui non fa d'uopo descrivere.

Praticando lo scavo, si arriverà in generale ad una certa profondità in cui il terreno, pur conservando i pori maggiori occupati dall'aria, comincia a mostrarsi notevolmente umido cioè coi capillari ripieni di acqua. Questa è l'acqua che il terreno pel suo noto potere assorbente capillare tira su dalla superficie superiore della falda. Proseguendo oltre lo scavo, l'umidità si farà di mano in mano maggiore, finchè si giungerà ad un punto in cui tutti i pori del terreno, anche quelli grossi, sono occupati interamente dall'acqua, rimanendone l'aria affatto esclusa. Allora noi avremo indizio sicuro d'aver raggiunto il livello dell'acqua sotterranea; e valendoci di mezzi assai ovvii, ovvero (se la trivella a ciò si presti) leggendo sull'asta stessa della trivella la profondità a cui essa è giunta, potremo determinare la quota di profondità della falda acquea in questione.

Se poi dopo aver trovato la falda, approfondiamo ancora lo scavo, finiremo per oltrepassare la falda ed osservare nel materiale d'escavazione le prime tracce del terreno impermeabile; allora la distanza fra la

superficie del suolo e la punta della trivella indicherà la quota di profondità dello strato impermeabile. La differenza fra le due quote corrisponde all'altezza della falda acquea.

Sovente però, quando basti soltanto avere la profondità della falda, anziché perforare noi stessi appositamente il terreno, possiamo usufruire degli scavi già praticati nel suolo allo scopo di attingere acqua, cioè dei comuni pozzi; infatti pel noto principio idrostatico dei vasi communicanti il livello dell'acqua nei pozzi è lo stesso di quello della falda acquea esistente nel terreno entro cui il pozzo è scavato. Facendo dei modi più semplici che si possono ideare per misurare la profondità dell'acqua nei pozzi, faremo qui menzione del nastro misuratore di Pettenkofer (fig. 28.)

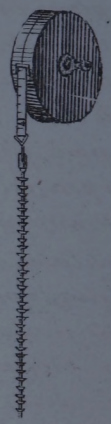


Fig. 28.

Esso consiste in un nastro metrico di tela incerata alla cui estremità è attaccata una verghetta d'ottone lunga circa mezzo metro; su questa verghetta stanno infilate e fissate con saldatura tante scodellette di metallo, distanti mezzo centimetro l'una dall'altra. L'orlo della prima scodelletta in alto fissa lo zero del nastro di misura. Per la determinazione di profondità si fa scendere il nastro nel pozzo svolgendolo dalla scatola cilindrica entro cui si tiene ordinariamente racchiuso, nel mentre che si tiene l'apertura della scatola in corrispondenza della su-

perficie del suolo ovvero di un qualche segno fissato alla bocca del pozzo e la cui altezza sul suolo sia nota; e quando un senso di leggerezza che acquista il nastro, ci rende avvertiti che una porzione della verghetta è già entrata nell'acqua, allora si arresta tosto il movimento di discesa, si legge il numero di centimetri corrispondenti alla porzione di nastro uscita dalla scatola, e poi si solleva con cautela il nastro. Ora è chiaro che al numero di centimetri letti sul nastro bisogna ancora aggiungere la lunghezza della porzione di verghetta che è rimasta al di sopra del pelo dell'acqua; ciò che si riconosce tosto badando al numero di scodellette che non si sono riempite d'acqua; questo numero però va diviso per 2, per avere tutta la misura espressa in centimetri.

Questo apparecchio riesce assai comodo e spedito, specialmente quando si abbia da misurare il livello dell'acqua successivamente in molti pozzi.

In queste misure conviene però avere un'avvertenza, ed è che se il pozzo viene utilizzato per l'estrazione dell'acqua, bisogna aspettare, prima d'intraprendere la misura, che esso rimanga in riposo per qualche tempo, acciocchè nel caso che il pelo dell'acqua nel pozzo si sia abbassato per effetto dell'acqua attinta, esso possa sollevarsi nuovamente a pari del livello dell'acqua sotterranea. È manifesto che questo periodo di riposo dovrà essere più o meno lungo a seconda del grado minore o maggiore di permeabilità dello strato in cui si trova la falda.

Profili e mappe rappresentanti la falda acquea sotterranea. – Già si è accennato che i rilievi e le depressioni della superficie del suolo possono farci trovare la falda sotterranea diversamente profonda nei differenti punti scelti per assaggio del terreno, anche nel caso in cui la falda si estenda in piano orizzontale. Perciò volendo avere una esatta rappresentazione dell'andamento seguito dalla falda, non basta aver misurato la sua profondità cioè la distanza verticale fra il suo livello superiore e la superficie del suolo in molti siti; ma bisogna ancora riferire tutte le misurazioni fatte ad un punto unico, ad un caposaldo fisso scelto ad arbitrio nella regione che si considera. Come caposaldo, trattandosi per es. di una città, può servire la base di un monumento, la soglia della porta principale di un edifizio pubblico ecc. Allora colle comuni operazioni di livellazione geometrica si determinano le differenze di livello fra il caposaldo e gli orifizi dei diversi pozzi o scavi nei quali si è misurata la profondità della falda; donde rimane poi facile con semplici somme o sottrazioni dedurre la quota di profondità della falda riferita al caposaldo.

È bene che del caposaldo si conosca l'altitudine cioè l'altezza sul livello del mare; perchè così, volendo, si possono dare le quote di profondità della falda in modo assoluto rispetto al livello del mare.

Quando poi si posseggono le coordinate di profondità della falda e dello strato impermeabile in molti punti e le altitudini di questi, si possono rappresen-

tare graficamente i risultati in modo da abbracciarli con un solo colpo d'occhio nel loro insieme. Due sono le rappresentazioni cartografiche che possiamo fare: il profilo e la mappa.

Il profilo rappresenta una sezione verticale del suolo corrente in una data direzione, ed in esso stanno tracciate tre linee principali: una superiore che segna l'andamento della superficie del suolo con tutti i rilievi e le depressioni, un'altra linea che segna il livello della falda (*), ed infine una terza linea che segna l'intersezione del piano verticale colla superficie dello strato impermeabile. Inoltre o con colori o con particolari tratteggi si suole indicare nel profilo anche la composizione petrografica dei diversi strati.

Mentre il profilo ci mostra l'andamento della falda lungo una retta cioè secondo una sola direzione, la mappa ci fornisce una rappresentazione più completa, perchè rappresenta il rilievo del suolo e del sottosuolo di un'intera regione, col metodo dei piani quotati. Su di una carta topografica della regione si dise-

---

(*) Siccome il livello della falda va soggetto ad oscillazioni col variare della stagione e colle vicende meteoriche, così non si possono prendere a base della rappresentazione le quote di profondità della falda ottenute in un giorno qualsiasi, ma ogni quota sulla carta deve invece corrispondere al livello medio che si osserva durante l'anno. Quanto al modo di fissare questa media parleremo più oltre.

gnano le curve cosidette isoipse che uniscono fra loro i punti della superficie aventi eguali altitudini; poi con un altro colore si tracciano le ipso-idro-isoipse congiungenti i punti in cui il livello della falda acquea sotterranea è lo stesso; e infine con un terzo colore si segnano le cata-idro-isoipse passanti per i punti dello strato impermeabile che hanno eguali altezze. Ad ognuna di queste curve di livello viene apposto un numero il quale indica in metri la differenza di livello dei rispettivi punti o della superficie del suolo, o della superficie superiore della falda, o della superficie dello strato impermeabile, dal punto comune preso come caposaldo o dall'orizzonte del mare.

III. Movimenti orizzontali dell'acqua sotterranea.

L'acqua sotterranea sta ferma solo quando il fondo impermeabile o sia assolutamente piano ed orizzontale oppure si presenti depresso a foggia di bacino; in questi casi l'acqua si accumula, ristagna ma non scorre. In ogni altro caso invece la falda si muove seguendo la legge di gravità che, allo stesso modo delle correnti acquee superficiali, l'obbliga a discendere dai punti più alti ai punti più bassi.

La velocità di questo movimento nel senso orizzontale è determinata essenzialmente da questi tre fattori: dal grado di pendenza dello strato impermeabile, dalla permeabilità del terreno poroso attraversato dall'acqua, e dalla massa stessa dell'acqua che si muove. — In causa della grande resistenza opposta

al movimento dell'acqua anche per parte dei terreni più permeabili, la velocità della falda sotterranea è, a parità di condizioni, incomparabilmente minore della velocità delle correnti superficiali; così per es. nel sottosuolo di Monaco che pure è ghiaioso, la falda si muove soltanto in ragione di 4 metri per ogni 24 ore, ed in terreni finamente sabbiosi o mescolati ad argilla il movimento è a mala pena apprezzabile, tanto che l'acqua appare ivi come stagnante.

La determinazione della direzione e della velocità del movimento orizzontale della falda interessa sotto molti punti di vista igienici, come per es. nel caso in cui si abbia da studiare il diffondersi di germi patogeni esistenti nell'acqua del sottosuolo per irradiamento da un centro d'infezione.

Il modo più spedito per conseguire un criterio sufficientemente esatto sulla direzione seguita dalla falda senza procedere ad investigazioni dirette, è quello di consultare le mappe dell'idrografia sotterranea costruite sui dati della profondità della falda e del letto impermeabile presi in molti punti. Dalle cata-idro-isoipse della mappa riesce facile rilevare quali siano le direzioni nelle quali il pendio del fondo impermeabile è massimo, ed anzi si possono sulla mappa tracciare le cosidette linee di massima pendenza, cioè quelle curve le quali in ogni loro punto sono normali alle linee di livello. Sebbene a dire il vero non sia forse stato finora tentato da nessuno il problema di determinare rigorosamente quale siano le linee seguite dai corsi d'acqua sotterranei nei loro movimen-

ti di discesa, tuttavia, considerando che la forza viva che acquistano le molecole d'acqua colla caduta, è debolissima per le acque sotterranee le quali si muovono con velocità minime, si può in generale affermare che la corrente sotterranea discende dalle parti più elevate alle più basse dirigendosi secondo le linee di massima pendenza del fondo impermeabile, semprechè il terreno permeabile si presenti omogeneo in tutti i suoi punti.

Anche per ciò che riguarda la velocità relativa della falda nei diversi punti, si può a un dipresso avere un orientamento badando alla pendenza maggiore o minore dei varii declivi a fondo impermeabile ed alla permeabilità specifica delle diverse regioni di terreno entro cui la falda si muove; la quale permeabilità può sempre essere determinata sperimentalmente su appositi saggi estratti dal suolo.

Ma del resto si posseggono anche dei metodi diretti per giudicare della velocità della falda sotterranea; sebbene tutti quanti presentino nella loro pratica attuazione difficoltà non lievi.

Uno di questi consisterebbe nell'osservare la velocità colla quale si avanza un'onda lungo un tratto misurato della falda. Questa osservazione però è soltanto possibile nel caso in cui la falda acquea discendendo a valle vi incontra un fiume il quale scorre sullo stesso strato impermeabile che serve di fondo alla falda. In questo caso l'acqua della falda serve ad alimentare il corso del fiume; ma quando in quest'ultimo succede una piena, allora spes-

so l'efflusso naturale della falda sotterranea nel letto del fiume resta impedito, cosicché avviene un rigurgito nella falda, e questo rigurgito si rende manifesto coll'innalzamento dell'acqua nei pozzi adiacenti al fiume. Naturalmente si richiede un certo tempo acciocché l'ondata si propaghi da un pozzo all'altro; e pertanto se si considerano due pozzi disugualmente lontani dal fiume, dalla loro reciproca distanza e dalla differenza dei tempi nei quali in ciascuno di essi si osserva il rigurgito, si può dedurre la velocità di propagazione dell'onda, e quindi approssimativamente anche la velocità del peso della falda acquea nelle condizioni normali.

Un altro metodo che fu suggerito, è il seguente. Se si hanno due pozzi alquanto distanti fra loro, ma alimentati dalla stessa falda, si mescoli all'acqua di quello che si trova nella parte superiore del corso sotterraneo una forte quantità di cloruro di sodio. Allora dopo un tempo più o meno lungo anche nell'acqua dell'altro pozzo posto inferiormente apparirà la salinità. Determinando l'intervallo di tempo che a ciò si richiede, e conoscendo la distanza fra i due pozzi, si hanno gli elementi per calcolare la velocità del movimento orizzontale della falda.

Finalmente un terzo metodo è quello di Thiem, il quale consiste nell'estrarre l'acqua col mezzo di pompe idrauliche da un grande pozzo, regolando le cose in modo che la depressione in questo pozzo rimanga costante per un certo periodo di tempo,

e nel cercare quanto tempo è necessario acciocchè l'influenza di questa depressione si faccia risentire nei pozzi circostanti.

IV. Oscillazioni verticali dell'acqua sotterranea.

La falda acquea sotterranea è pure soggetta a movimenti nel senso verticale, cioè ad innalzamenti o abbassamenti del suo livello superiore.

Parecchie possono essere le cause di queste oscillazioni verticali, ma la principale fra esse consiste nella caduta delle acque meteoriche. Infatti dopo una pioggia il livello superiore della falda si mostra in generale più o meno sollevato; però questo innalzamento non segue immediatamente alla pioggia, ma si manifesta soltanto dopo che sia trascorso il tempo necessario acciocchè l'acqua piovana dalla superficie del suolo passi per infiltrazione attraverso agli strati permeabili fino a raggiungere la falda. Inoltre l'innalzamento della falda non è sempre proporzionale alla quantità assoluta di pioggia caduta, avendo influenza in ciò moltissime circostanze connesse colla configurazione, inclinazione e natura del suolo, colla temperatura e coll'umidità dell'aria e del terreno, col carattere speciale della pioggia in quanto alla sua durata ecc. - Così un acquazzone violento e di breve durata influisce sull'innalzamento della falda meno che una pioggia fina, lenta, ma perdurante; perchè nel

primo caso la maggior parte dell'acqua che cade, scorre sul terreno e va ad alimentare i corsi d'acqua superficiali prima d'aver tempo ad infiltrarsi nel suolo; mentre nel secondo caso è minore la quantità d'acqua che va perduta per scorrimento, e maggiore per conseguenza quella che può infiltrarsi nel terreno permeabile ed andare a contributo dell'alimentazione della falda.

In generale poi si capisce come agiscano a detrimento dell'inalzarsi della falda sotterranea per effetto di piogge tutte quelle circostanze che favoriscono l'evaporazione o il raccogliersi delle acque piovane in masse corsive alla superficie del suolo. Queste circostanze possono molte volte essere di tale entità da mascherare completamente la relazione esistente fra la caduta della pioggia e le variazioni del livello superiore dell'acqua sotterranea.

Senza però dilungarci nell'esame particolareggiato delle diverse cause e circostanze modificatrici del livello dell'acqua del sottosuolo, descriveremo ora senz'altro i principali metodi e strumenti in uso per studiare i movimenti verticali della falda.

Si può tener dietro a questi movimenti misurando frequentemente a brevi e regolari intervalli di tempo (p. es. una volta ogni dodici ore) la profondità dell'acqua in un determinato pozzo col nastro misuratore di Pettenkofer già descritto.

Quando però si possegga un pozzo a completa

disposizione per istituirvi osservazioni continuate di profondità, si possono con vantaggio adottare appositi apparecchi i quali permettono di leggere immediatamente oppure registrano automaticamente la posizione del livello dell'acqua sotterranea.

Uno di questi apparecchi fu pure ideato da Pettenkofer; e consiste in un galleggiante a (fig. 29) appeso ad un nastro verniciato b diviso in centimetri il quale si accavalca su di una puleggia e viene tenuto teso all'altra estremità mediante un contrapeso c. Il galleggiante è un recipiente vuoto fatto con lamina di ferro zincato, ed ha la forma di un cilindro chiuso sopra e sotto da due coni assai depressi; esso è tarato con piombo in modo che agendo contemporaneamente il contrappeso, il galleggiante rimanga immerso nell'acqua fino alla linea di mezzo della sua parte cilindrica, la quale linea segna l'origine della graduazione del nastro. La puleggia è sostenuta da una

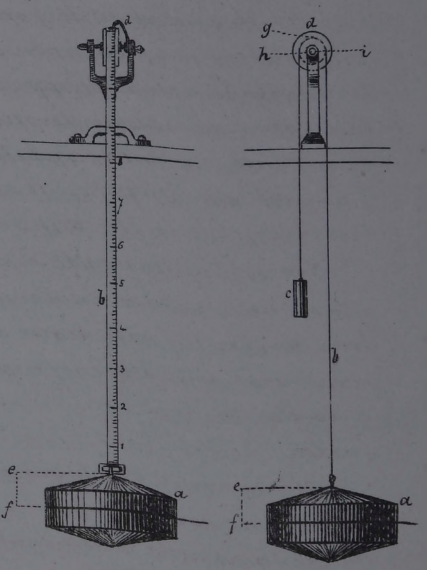


Fig. 29.

forchetta di ferro, su cui sta fissato un indice d; quest'ultimo segna la divisione del nastro che si deve leggere per avere la profondità del livello del pozzo. Puleggia ed indice stanno riparati entro una custodia di latta, la quale si leva al momento della lettura. Lo strumento si fissa con viti sul coperchio o sul bordo del pozzo in posizione conveniente, badando che tanto il galleggiante quanto il contrappeso abbiano movimenti completamente liberi per qualsiasi livello dell'acqua nel pozzo.

Un altro apparecchio che differisce solo di poco da quello di Pettenkofer, è disegnato nella fig. 30. In questo il galleggiante non è attaccato ad un nastro metrico, ma ad una semplice catena o fune metallica; e il contrappeso g porta un indice z che fissato normalmente alla fune scorre lungo le divisioni di un'asta metrica dd, eretta verticalmente sull'orlo del pozzo. Il galleggiante segue le variazioni di livello dell'acqua nel pozzo, ed ai movimenti del galleggiante corrispondono le escursioni in senso inverso che l'indice fa lungo la scala; resta dunque facile tener dietro all'andamento delle variazioni di profondità dell'acqua rispetto al tempo.

Se poi si vuole che in ogni caso l'indice segni sulla scala non semplicemente l'ampiezza delle oscillazioni di livello, ma la profondità assoluta dell'acqua (cioè la distanza esatta fra l'orlo C del pozzo ed il pelo dell'acqua), basta stabilire lo zero della scala in coincidenza coll'orlo C del pozzo, dove alla

scala un'altezza conveniente, e poi fissare, per una volta tanto, l'indice in una posizione determinata dalla condizione che quando si sia tirato su il galleggiante dal pozzo fino a fare corrispondere col punto C la linea d'affioramento ossia il limite della parte del galleggiante che deve stare immersa, anche l'indice si trovi a segnare lo stesso punto C cioè lo zero della scala.

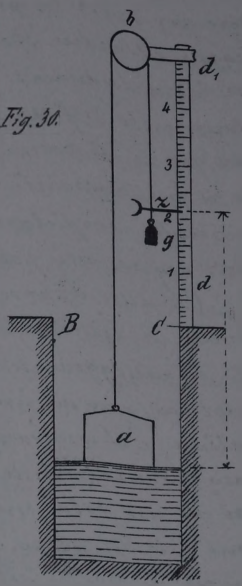


Fig. 30.

Se invece dell'indice fissiamo una matita la cui punta prema dolcemente contro un foglio di carta che un adatto meccanismo d'orologeria faccia lentamente scorrere in senso orizzontale e con moto uniforme, noi avremo trasformato lo strumento in un autoregistratore, cioè troveremo automaticamente tracciata sulla carta una curva che rappresenta le oscillazioni della falda sotterranea.

Coi dati delle osservazioni eseguite sistematicamente sugli strumenti ora descritti o ogni giorno, ovvero anche a più lunghi ma sempre regolari intervalli di tempo, si può calcolare quale sia il livello medio della falda sotterranea durante l'anno, ed avere così la coordinata vera delle ipso-idro-isoipse che figurano nelle rappresentazioni cartografiche dell'idrografia sotterranea.

Nella scelta del pozzo in cui si vogliono impiantare apparecchi per le osservazioni sistematiche di profondità, devesi badare che siano adempiute le seguenti condizioni:

1. Il pozzo deve essere fuori d'uso, cioè non devesi da esso attingere acqua.

2. Esso deve inoltre trovarsi sufficientemente lontano da altri pozzi dai quali si voglia estrarre l'acqua, affinchè le depressioni che si effettuano in questi ultimi, non abbiano da farsi risentire sul livello dell'acqua nel pozzo in questione.

3. Esso deve infine trovarsi lontano da acque corsive superficiali, le quali per effetto di piene possono indurre variazioni nel livello della falda sotterranea.

V. Temperatura dell'acqua sotterranea.

La temperatura dell'acqua sotterranea è in generale quella stessa che è propria degli strati di terreno da essa attraversati. E poichè, come si è visto, coll'aumentare della distanza dalla superficie del suolo la temperatura del terreno tende a diventare meno soggetta alle variazioni diurne e mensili fino a che raggiunge una completa costanza a 20-22 m. di profondità nelle nostre latitudini, così ne consegue che quanto più profonda è la falda, tanto più costante si mostra la temperatura dell'acqua sotterranea.

Anche per determinare la temperatura della falda sotterranea possiamo mettere a profitto i comuni pozzi, calando in essi speciali termometri.

Come termometro misuratore della temperatura dell'acqua nei pozzi, può servire qualsiasi termometro il quale sia molto pigro nell'accusare variazioni di temperatura. Conviene perciò che il bulbo del termometro sia assai grande in modo da contenere una considerevole massa di liquido, ed è meglio se si adoperano termometri ad alcool anziché a mercurio. Inoltre si circonderà il bulbo del termometro con un grosso strato di sostanza coibente pel calore; per es. si può avvilluppare attorno al bulbo con ripetuti giri una striscia di tela imbevuta nella paraffina fusa. Il termometro così preparato viene fatto discendere nel pozzo, e lo si lascia ivi tuffato magari per più di un'ora, fino a che si possa essere certi che nonostante lo strato coibente esso abbia preso la temperatura propria dell'acqua. Allora lo si solleva rapidamente, e con prontezza se ne fa la lettura.

Volendo ovviare alla perdita di tempo che risulta dal dovere lasciare il termometro immerso a lungo nell'acqua, si può fare uso del termometro a pennello di Jannsen (fig. 31.). Esso è un termometro ad alcool il cui serbatoio trovasi circondato da un fitto pennello formato di fili di canapa; la parte superiore del fascio di fili è tenuta stretta da un cerchietto metallico, il quale sostiene pure una specie di gabbia di lamine di ferro destinata alla protezione del bulbo contro gli urti accidentali. Immergendo questo termometro nell'acqua, i fili reciprocamente si scostano e divergono dal bulbo; quest'ultimo trovasi così allo scoperto, ed essendo bagnato dall'acqua,

ne prende prontamente la temperatura. Quando poi si ritira il termometro dall'acqua, i fili divenuti umidi ricadono, si riuniscono compatti addossandosi al serbatoio, e formano per tal modo un involucro coibente, il quale protegge il termometro dalle variazioni di temperatura, almeno per quel breve momento necessario alla lettura.

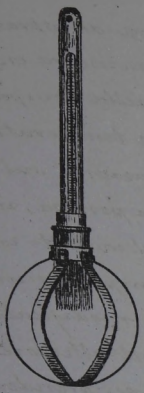


Fig. 31.

Si può pure fare uso del termometro a secchiello (fig. 32), così detto perchè è munito di un astuccio metallico che termina inferiormente in una specie di pozzetto cilindrico, nel centro del quale sta il serbatoio. Alcuni fori praticati nella parte superiore del secchiello, permettono all'acqua di entrarvi, quando il termometro viene tuffato nel pozzo. Tirando in seguito su il termometro, l'acqua che rimane dentro il secchiello agisce come strato coibente; infatti una qualsiasi variazione di temperatura, per giungere a farsi sentire sul termometro, bisogna che prima induca un raffreddamento o un riscaldamento sensibile nella massa d'acqua relativamente considerevole da cui il bulbo è circondato.

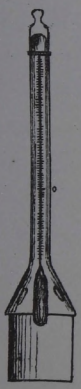


Fig. 32.

Per una ragione affatto analoga, si può anche determinare la temperatura dell'acqua di un pozzo tirando semplicemente su un gran-

de secchio d'acqua entro il quale si porga tosto un sensibile termometro.

Infine se c'è una pompa la quale serva ad estrarre acqua dal pozzo, basta tenere un termometro entro il getto d'acqua che esce dalla bocca della pompa, ed aspettare a leggere definitivamente la temperatura quando più non si noti alcuna variazione sul termometro. Infatti l'acqua che esce dalla pompa, in sul principio si raffredda o si riscalda pel contatto col tubo d'aspirazione e colle pareti della pompa, e quindi la sua temperatura risulta alquanto modificata da quando essa era nel pozzo; ma poi coll'ulteriore passaggio dell'acqua, la pompa finisce per prendere la stessa temperatura di questa, ed allora il getto mostrerà inalterata la temperatura dell'acqua nel pozzo.

Capitolo Quarto.

L'aria tellurica.

I. Studi relativi all'aria tellurica; metodi per estrarla dal suolo.

Definizione. – Per l'aria tellurica in generale si intende tutta quella massa d'aria che occupa i pori del terreno, quando questi non siano già riempiti totalmente con acqua; essa proviene dall'atmosfera la quale si infiltra nel suolo. Però, igienicamente parlando, di tutta la massa costituente l'aria tellurica ha interesse soltanto quella porzione o strato che limitato superiormente dalla superficie del suolo, ha per limite inferiore il pelo della falda acquea sotterranea; la rimanente porzione che sta al disotto della falda e può estendersi all'ingiù illimitatamente, non ha più per noi alcun diretto interesse. Pertanto in tutto quello che diremo sull'aria tellurica, noi intenderemo sempre di parlare soltanto della porzione più superficiale compresa fra la superficie del suolo e la falda acquea.

Studi da farsi sull'aria tellurica. – Gli studi che si possono fare relativamente all'aria tellurica comprendono l'esame fisico (determinazione della temperatura, dello stato igrometrico e dei movimenti di essa), l'esame chimico e l'esame batterioscopico.

Dell'esame chimico e del batterioscopico non è qui il luogo di occuparsi. Basterà soltanto accenna-

re come in seguito alla decomposizione ed all'ossidazione delle sostanze organiche nel suolo e ad altri speciali processi chimici, la composizione dell'aria tellurica sia in generale notevolmente diversa dalla composizione dell'atmosfera. Infatti si nota che la proporzione dell'ossigeno nell'aria tellurica è minore, ed è invece assai rilevante la quantità di anidride carbonica, quantità che è d'altronde variabilissima da luogo a luogo; inoltre si trovano frequentemente nell'aria del suolo gas particolari quali l'ammoniaca, il solfuro d'idrogeno e altri, i quali non possono rinvenirsi nell'atmosfera, se non in circostanze del tutto speciali.

Venendo poi all'esame fisico, diremo subito che essendo la temperatura dell'aria del sottosuolo quella stessa del terreno, non fa d'uopo indagarla con mezzi speciali, bastando in ogni caso fare uso dei geotermometri già descritti; cosicchè ora non ci resta a trattare che della determinazione dell'umidità e dei movimenti dell'aria tellurica.

Metodi per l'estrazione dell'aria tellurica dal suolo — Per la massima parte degli studi da farsi sull'aria tellurica, si richiede che essa venga estratta dal suolo, aspirandola attraverso a tubi appositamente introdotti nel terreno a determinata profondità.

Per questo scopo il Pettenkofer faceva scavare il terreno, vi introduceva dei tubi di piombo, poi riempiva lo scavo collo stesso materiale addensandolo bene contro il tubo; dimodochè trascorso un

po' di tempo si poteva ritenere che nel terreno smosso l'aria si trovasse nelle stesse condizioni che nella porzione di suolo circostante.

Il Fodor invece propone di introdurre direttamente i tubi nel terreno senza preventiva escavazione. I tubi devono allora essere di ferro (del diametro di 2–3 cm.), e terminare inferiormente in una punta aguzza di acciaio; al disopra della punta, la parete del tubo possiede alcuni fori per permettere l'entrata all'aria, ed affinchè tali fori non rimangano ottturati dalle particelle di terra che potrebbero cadere nell'interno del tubo, essi sono ricoperti da una fina rete metallica.

Infine si potrebbe forse con vantaggio adottare una speciale trivella sul genere di quella di Fränkel. Nella porzione inferiore di una canna robusta di ferro del diametro di 3 cm. stanno praticate tre finestre longitudinali lunghe 5 cm. e larghe 1,5 cm. Altre tre finestre di eguali dimensioni sono praticate in un pezzo di tubo avente il diametro un po' maggiore, il quale riveste la porzione inferiore del primo tubo, e può girare attorno a questo per un sesto di giro soltanto; il pezzo di tubo girevole porta come punta di trivella una breve elica di ferro a falda molto espansa. Quando si fa addentrare la trivella nel terreno girandola p. es. da sinistra a destra, le cose sono così disposte che ai vani delle finestre del tubo interno corrispondono le parti massicce del tubo girevole, dimodochè il primo tubo rimane chiu-

so ed in esso non possono penetrare le particelle terro-
se. Giunti poi alla profondità che si desidera, si dà
un breve colpo in senso contrario (da destra a si-
nistra) alla trivella; allora per la resistenza che
il terreno oppone contro l'etica, il tubo girevole è
costretto a muoversi per un certo di giro, cosicchè
ai vani delle finestre del tubo interno vengono ora
a trovarsi sovrapposti i vani delle finestre del
tubo che serve da coperchio; cioè il tubo principale
risulta adesso inferiormente aperto e lascia libe-
ro l'accesso all'aria tellurica. La porzione del tubo
sporgente oltre la superficie del suolo porta anzi-
tutto una breve tubulatura laterale munita di
chiavetta, la quale può congiungersi o diretta-
mente cogli apparecchi di analisi, oppure con
un lungo tubo sottile e flessibile di rame o di piom-
bo, che serve allo scopo di rendere possibile l'aspi-
razione dell'aria tellurica nel laboratorio stesso
in cui si vuole eseguire l'analisi chimica di que-
st'aria. Un'altra breve tubulatura pure infissa la-
teralmente alla trivella serve per introdurre den-
tro la canna un tubetto metallico congiunto col
manometro differenziale di Rechnagel, di cui si
parlerà più sotto a proposito dello studio sulla
pressione e sui movimenti dell'aria tellurica. In-
fine l'orifizio superiore della trivella è chiuso
da un tappo pel quale, volendo, può farsi passare
un lungo tubo di gomma elastica che va fino al-
l'estremità inferiore della trivella e sostiene un
recipientino obliungo di vetro riempito di cloruro

di calcio e destinato all'assorbimento dell'umidità dell'aria tellurica, come si vedrà nel seguente paragrafo.

II. - Umidità dell'aria tellurica.

L'aria tellurica è sempre pressochè satura di vapore acqueo. Infatti il terreno, ad eccezione degli strati più superficiali del suolo, contiene in generale una notevole quantità d'acqua la quale a causa della grande estensione in superficie presentata dai grani terrosi trova condizioni estremamente favorevoli all'evaporazione; donde segue che l'aria inclusa nei pori in breve rimane satura di vapore, non potendo essa ricambiarsi se non lentamente, coll'aria atmosferica esterna non satura.

Sapendo che l'aria tellurica è satura di vapore, una diretta determinazione dell'umidità di essa riesce per lo più superflua; ed invero basta conoscere quale sia la temperatura del suolo in uno strato di determinata profondità, per potere subito dedurre la tensione del vapore acqueo contenuto nell'aria di quello strato cioè la cosidetta umidità assoluta, facendo semplicemente uso delle tavole che danno le tensioni massime del vapore d'acqua alle diverse temperature.

Qualora tuttavia si voglia procedere ad una determinazione diretta, è anzitutto da notare che non conviene mai condurre l'aria tellurica attraverso a lunghi tubi fino in laboratorio per esaminar=

ne qui l'umidità, a quello stesso modo che abbiamo detto potersi invece condurre l'aria tellurica in laboratorio per fare l'analisi della sua composizione chimica. Infatti i tubi di conduttura e la camera stessa che serve da laboratorio, si trovano a temperature generalmente diverse dalla temperatura che ha l'aria nel suolo; e quindi l'aria tellurica già molto umida potrebbe assai facilmente subire una parziale condensazione del suo vapore acqueo entro ai tubi prima di arrivare all'apparecchio di misura; per la qual cosa si ricaverebbero dalla determinazione dell'umidità fatta in laboratorio risultati del tutto illusorii. Per avere valori attendibili bisogna dunque in ogni caso determinare l'umidità dell'aria tellurica nell'interno stesso del terreno; e il metodo migliore da adottarsi è il seguente.

Si cala entro un tubo conficcato alla voluta profondità nel terreno (p.es. entro alla trivella sopra descritta) un comune tubo di vetro di assorbimento riempito con cloruro di calcio o meglio con pezzetti di pietra pomice imbevuta di acido solforico concentrato. Questo tubo d'assorbimento sta attaccato ad un lungo tubo di gomma elastica, il cui estremo superiore sporgente dall'orifizio della trivella è unito ad un aspiratore; e come tale può servire un grosso bicchiere pieno d'acqua, munito in basso di una chiavetta. Devesi intanto badare che mentre l'aspiratore funziona, l'orifizio superiore della trivella rimanga ben chiuso mediante un tappo che pur permettendo il passaggio al tubo di caucciù per un

foro centrale, impedisca all'aria esterna di accedere nell'interno della trivella. Allora facendo sgorgare dall'aspiratore un certo numero di litri di acqua che si misurano ricevendoli entro recipienti di capacità nota, altrettanti litri di aria proveniente dal suolo dovranno entrare nella bottiglia passando attraverso alle sostanze assorbenti dell'umidità. Ne viene che se noi abbiamo preventivamente pesato il tubo di assorbimento, nel ripesarlo di nuovo alla fine dell'esperienza troveremo in esso un aumento di peso dovuto al vapore acqueo contenuto nei litri di aria tellurica aspirati e trattenuto dal cloruro di calcio o dall'acido solforico; cosicchè dividendo quest'aumento di peso per il numero dei litri d'aria, si ottiene il peso di vapore acqueo contenuto in un litro di aria tellurica.

Se poi da questo dato si vuole dedurre lo stato igrometrico o umidità relativa cioè il rapporto fra la quantità di vapore effettivamente contenuto nell'aria e quella che vi sarebbe invece contenuta se l'aria corrispondentemente alla sua temperatura fosse satura, occorre ancora la conoscenza esatta della temperatura dell'aria tellurica all'entrata nel tubo d'assorbimento. Questa temperatura la si determina calando nell'interno della trivella unitamente al tubo di assorbimento anche un termometro poco pronto, che viene letto alla fine della esperienza.

III. - Movimenti dell'aria tellurica.

La massa d'aria che sta inclusa nel suolo, è soggetta a movimenti. I movimenti in direzione orizzontale sono stati finora poco studiati, e a dir vero essi presentano pochissimo interesse per l'igiene. Assai più importanti a studiarsi sono i movimenti che si compiono verticalmente, in quantochè è per essi che succede il ricambio fra l'aria del suolo e l'aria atmosferica.

Le cause principali determinanti i movimenti verticali ed il ricambio dell'aria tellurica sono:

1. Le variazioni barometriche. - Quando per le vicende atmosferiche il barometro si abbassa, vuol dire che diminuisce la pressione esercitata dall'atmosfera sulla superficie del suolo e sulla massa d'aria rinchiusa negli strati del terreno. Quest'ultima pertanto tende a dilatarsi e ad assumere un movimento ascensionale, il quale sebbene si compia assai lentamente a causa della notevole resistenza opposta dal terreno, fa sì che l'aria tellurica venga in parte a riversarsi nell'atmosfera. Il contrario accade quando la pressione atmosferica aumenta, cioè l'aria tellurica trovandosi allora maggiormente premuta, si restringe di volume, ed una parte dell'atmosfera discende in basso penetrando pei pori nel terreno.

2. Le differenze di temperatura fra l'aria tellurica e l'aria atmosferica. - Abbiamo visto che la temperatura del suolo e quindi anche quella dell'aria tellurica è in generale diversa dalla temperatura dell'atmo

sfera. Queste differenze di temperatura inducono una diversità nella tensione e nella densità delle due specie d'aria; donde risulta in esse una permanente tendenza ad equilibrarsi la quale si esplica mediante movimenti delle rispettive masse. Supposto anche che in un dato momento l'equilibrio sia raggiunto, esso viene tosto rotto al sopraggiungere di ogni nuova variazione di temperatura in una delle due specie d'aria; e allora l'una aria deve riversarsi nell'altra fino a che si sia nuovamente ristabilito in entrambe l'equilibrio di tensione.

3. Le variazioni della temperatura atmosferica, anche considerate solo per se stesse, cioè indipendentemente dalla temperatura propria del suolo. - Infatti quando gli strati atmosferici più vicini al suolo si riscaldano per effetto dei raggi solari, l'aria si dilata e ascende agli strati superiori; e questo moto di ascesa esercita come una specie di aspirazione sull'aria tellurica, la quale perciò si porta alla superficie e si immette nell'aria libera.

4. L'eccesso di temperatura dell'aria nell'interno delle abitazioni sull'aria esterna e su quella del suolo; il quale eccesso si verifica specialmente nelle epoche in cui le case vengono riscaldate mediante stufe, caloriferi ecc. Come conseguenza difatti analoghi a quelli già accennati ai n. 2 e 3, deve pertanto succedere un richiamo dell'aria tellurica verso l'interno delle case; questo sprigionamento dell'aria tellurica in esse sarà impedito solo quando le case siano divise dal suolo mediante una pavimentazione im-

permeabile.

5. I venti. - L'influenza che i venti esercitano sul movimento e sullo scambio dell'aria tellurica, si esplica in vario modo a seconda dell'inclinazione che la direzione del vento ha rispetto all'orizzontalità. Se il vento colpisce la superficie del suolo verticalmente ovvero sotto un angolo acuto, esso esercita un'azione premente; l'aria tellurica compressa tende allora a riversarsi nell'interno delle abitazioni, cioè in quei punti soltanto in cui la pressione del vento non si fa sentire sul suolo. Invece se il vento soffia orizzontalmente e sfiora quasi la superficie del suolo ovvero se esso ha direzione inclinata verso l'altó, si ha una diminuzione di pressione ed un'aspirazione dell'aria tellurica; questa adunque fuori dell'abitato si sprigionerà nell'atmosfera, mentrechè nell'interno delle case succederà un movimento opposto, cioè l'aria delle case sarà indotta a cacciarsi nel suolo. Inoltre l'azione del vento viene modificata da tante altre circostanze; così se il vento colpisce un ostacolo elevato sul suolo p. es. un edifizio, dalla parte donde il vento viene si avrà una pressione, e dall'altra invece un'aspirazione. - Questi effetti dei venti si manifestano in grado maggiore o minore corrispondentemente alla permeabilità del terreno; p. es. l'influenza dei venti è massima pei terreni ghiaiosi.

6. La pioggia. - La pioggia che cade sul terreno, in parte penetra in esso scacciandone l'aria. E poichè l'uscita dell'aria verso l'alto rimane in gran parte impedita pel fatto che l'acqua stessa di pioggia ri-

empiendo i pori rende il terreno meno permeabile, specialmente se esso è a grana fina, così risulta nella massa dell'aria tellurica una compressione; per la quale quest'aria cercherà di effluire da quelle porzioni del suolo che formando la base di edifizi, non sono bagnate dalla pioggia.

1. Le oscillazioni verticali della falda acquea sotterranea. È chiaro che un abbassamento di livello della falda per quanto lentamente si compia, provoca un'aspirazione dell'aria atmosferica nel suolo. Al contrario un innalzamento della falda obbliga l'aria tellurica a spostarsi dagli strati che l'acqua sale ad occupare; ciò che dà per risultato un efflusso d'aria dal suolo.

8. I fenomeni di diffusione. - Infine è naturale ammettere che trovandosi fra loro a contatto due specie di aria, la tellurica e l'atmosferica, di diversa tensione e densità, anche i soliti processi di diffusione indipendentemente da ogni altra causa, intervengano nell'operare in parte il ricambio dell'una aria coll'altra.

IV. - Metodi per riconoscere i movimenti dell'aria tellurica.

Siccome l'aria tellurica si distingue dall'atmosferica per una maggiore ricchezza di acido carbonico, così tra le altre cose fu pensato di determinare la quantità d'aria tellurica che si scambia coll'atmosfera, tenendo dietro al grado di diffusione

dell'anidride carbonica. Questo metodo però non può guidare ad alcun risultato sicuro, poichè per un infinità di circostanze il contenuto percentuale di CO_2 nell'aria tellurica si mostra variabilissimo non solo da luogo a luogo, ma anche da un momento all'altro.

Metodo più semplice e nel tempo stesso più rigoroso è quello di adottare il manometro per seguire i movimenti dell'aria del sottosuolo, giacchè questi ultimi non sono altro che il risultato di differenze di pressione. All'estremità libera di un tubo di ferro o di piombo introdotto nel terreno alla voluta profondità si unisce, mediante un breve tratto di tubo elastico, un comune manometro costituito da una canna di vetro ripiegata a U, e riempito per metà di acqua. Il livello del liquido nei due bracci del tubo si mantiene lo stesso fino a che la pressione esercitata dall'aria tellurica in un ramo e la pressione esercitata dall'aria atmosferica nell'altro si eguagliano a vicenda. Ma se si stabilisce fra le due arie una differenza di pressione, questa tosto si rivela facendo abbassare il livello del liquido in quel ramo in cui la pressione è maggiore e facendolo innalzare nell'altro ramo; il maggiore o minore dislivello (che si può leggere su di una scala millimetrica applicata lungo il tubo di vetro) misura l'entità di questa differenza di pressione. Se in confronto dell'atmosfera la pressione dell'aria tellurica è positiva cioè maggiore, è segno che l'aria tellurica

tende a sprigionarsi dal terreno; se è negativa, si ha indizio che l'aria atmosferica entra nel suolo. - Ricordando che l'altezza della colonna liquida che fa equilibrio ad una data pressione dev'essere tanto più grande quanto specificamente più leggero è il liquido, si vede come per rendere più sensibile il dislivello nel manometro convenga sostituire all'acqua il petrolio, essendo quest'ultimo dotato di un peso specifico minore, oltrechè presenta il vantaggio di una maggiore mobilità.

Inoltre siccome le differenze di pressione fra l'aria atmosferica e la tellurica sono il più delle volte debolissime (importano talora pochi centesimi di mm. in acqua) e quindi spesso riescono assai difficili a riconoscersi, così il Renk ha pensato di ricorrere per questi studi al manometro differenziale di Recknagel, strumento sensibilissimo non solo perchè in esso è adottato il petrolio come liquido manometrico, ma anche per l'ingegnosa disposizione di avere uno dei bracci assai inclinato rispetto alla verticale. Infatti il dislivello prodotto da una data pressione è bensì sempre lo stesso qualunque sia l'inclinazione d'uno dei bracci; ma essendo il braccio inclinato, si ha il vantaggio di poter leggere il dislivello su di una lunghezza maggiore.

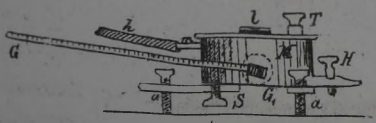


fig. 33

Il manometro di Recknagel (fig. 33) è costituito da una scatola metallica cilindrica M,

uvente 100 mm. di diametro interno, la quale dopochè siasi riempita quasi totalmente di petrolio, la si chiude a tenuta d'aria facendo aderire ai suoi orli bene spianati un grosso disco di vetro smerigliato, leggermente unto di grasso. La scatola viene disposta in piano orizzontale muovendo le tre viti di livello a a a e guardando alla livelletta l che sta adagiata sulla lastra di vetro. Il tubetto metallico m unito al grosso tubo di caucciù h serve a far comunicare la parte superiore della scatola col tubo della trivella che conficcata entro terra ci pone in relazione coll'aria tellurica; il tappo T serve a versare petrolio dentro la scatola, e la tubulatura inferiore H munita di chiavetta serve a svuotare in tutto o in parte lo strumento. Ora il cilindro M forma uno dei bracci del manometro; l'altro braccio è costituito dal cannello di vetro G aperto al di sopra, che è girevole intorno ad un perno internamente forato G, comunicante colla scatola. Il tubo G ha il diametro di 2 mm., la lunghezza di 250 mm., e porta su di esso incisa una scala millimetrica sulla quale si leggono i dislivelli prodotti dalle differenze di pressione. Mediante una vite S si possono dare al tubo G inclinazioni maggiori o minori, e così far variare a piacimento la sensibilità dell'apparecchio

INDICE

	Pag.
Cenni sull'importanza dello studio delle proprietà fisiche del terreno relativamente all'Igiene	1.
Cap. 1° Le proprietà fisiche del terreno	4.
I. Metodi per la prelevazione dei saggi di terreno	4.
II. Essiccamento dei saggi di terreno	11.
III. Analisi meccanica del terreno	13.
IV. Porosità del terreno; volume dei pori	20
V. Metodi per determinare il volume dei pori	30
VI. Permeabilità del terreno	50.
VII. Metodi per determinare la permeabilità del terreno per l'aria	53.
VIII. Capacità per l'acqua	65.
IX. Metodi per determinare la capacità per l'acqua	67.
X. Potere capillare di assorbimento per l'acqua	76.
XI. Metodi per determinare la permeabilità per l'acqua	79.
XII. Umidità del terreno	84.
XIII. Potere di condensazione del terreno per l'acqua	90.
XIV. Potere d'evaporazione del terreno	93.
XV. Calore specifico del terreno	100.
XVI. Potere assorbente ed emissivo del terreno pel calore	101.
XVII. Conduttività termica del terreno	106.
Cap. 2° La temperatura del suolo	108.
I. Cause del riscaldamento del suolo	108.
II. Fattori che influiscono sul riscaldamento del suolo	109

IRR310

	Pag.
III. Strumenti per la misura della temperatura del suolo	112.
IV Osservazioni sistematiche sulla temperatura del suolo	118.
V. Andamento della temperatura nella superficie del suolo e negli strati inferiori	120.
Cap. 3° L'acqua sotterranea	126
I. Esistenza ed origine dell'acqua sotterranea	126.
II. Profondità, altezza e spessore della falda acquea sotterranea	127.
III. Movimenti orizzontali dell'acqua sotterranea	135.
IV. Oscillazioni verticali dell'acqua sotterranea	139.
V. Temperatura dell'acqua sotterranea	144
Cap. 4° L'aria tellurica	148
I. Studi relativi all'aria tellurica; metodi per estrarla dal suolo	"
II. Umidità dell'aria tellurica	152
III. Cause dei movimenti dell'aria tellurica	155
IV. Metodi per studiare i movimenti dell'aria tellurica	158